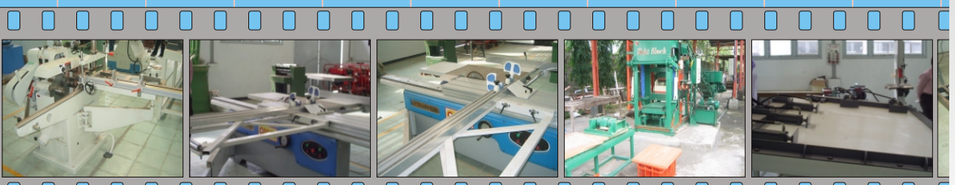
Jurnal
Aplikasi
Teknik Sipil

ISSN. 1907-753X

Jurnal

APLIKASI

Teknik Sipil



Jurnal
APLIKASI
ISSN 1907-753X

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Volume 2, Nomor 1, Pebruari 2007

Jurnal APLIKASI

Terbit 2 (dua) kali setahun Pebruari dan Agustus.
Memuat artikel ilmiah hasil riset (non populer) dan artikel ilmiah populer bidang rekayasa sipil

Pelindung
Rektor ITS

Penasehat
Dekan FTSP ITS

Penanggung Jawab
Koordinator Program Diploma Teknik Sipil
FTSP ITS

DEWAN REDAKSI
Pimpinan Redaksi
Ir. Djoko Sulistiono

Anggota
Machsus, ST. MT.
Muntoha, ST. MT.
Moh. Khoiri, ST. MT.
Amalia, ST.
Tatas, ST.

Reviewer
DR. Ir. Indarto (ITS)
DR. Ir. Piter LF Bentura, CES. DEA. (ITS)
Ir. Sigit Dharmawan, M.Eng.Sc. PhD. (ITS)
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng. PhD. (ITS)
Ir. Widjonarko R. MSc.(CS). (ITS)
Ir. Jul Endawati, MT. (Polban)

Pelaksana Tata Usaha
Syarif - Aspai - Suharna

Alamat Redaksi
Program Diploma Teknik Sipil ITS
Kampus ITS Manyar, Jalan Menur 127 Surabaya
Telp. 031-5947637; Fax. 031-5938025
e-mail: aplikasi@ce.its.ac.id

Diterbitkan oleh
Program Diploma Teknik Sipil FTSP ITS

Redaksi menerima **sumbangan artikel** yang belum pernah diterbitkan pada media lain. Naskah diketik mengikuti Informasi dan Panduan Penulisan Naskah untuk Jurnal APLIKASI, seperti yang tercantum pada bagian belakang dalam cover belakang Jurnal ini.

Aplikasi Teknik Sipil

Informasi & Panduan Penulisan Naskah Untuk Jurnal APLIKASI (font: Trebuchet MS 12 pt, bold)

Nama Penulis (font: Trebuchet MS 10 pt, bold)
Afiliasi penulis (font: Trebuchet MS 10 pt)
Email: email@address.com (font: Trebuchet MS 10 pt*, italic)*

ABSTRAK (Trebuchet MS 12 pt. Bold)
Pada bagian ini, kami akan memaparkan tentang informasi & panduan penulisan naskah atau artikel ilmiah yang disyaratkan untuk bisa dipulikasikan di Jurnal APLIKASI.

Kata kunci: *Informasi, Panduan, Publikasi*

1. PENDAHULUAN

Jurnal APLIKASI (Jurnal Aplikasi Teknik Sipil) yang diterbitkan oleh Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS. Jurnal APLIKASI menyajikan tulisan atau artikel ilmiah yang bersifat non-populer maupun ilmiah populer dalam bidang rekayasa sipil.

Untuk itu, **redaksi mengundang** para praktisi, akademisi dan Peneliti untuk menyampaikan makalah atau artikel yang belum pernah dan tidak akan dipublikasikan di media lain. Setiap naskah yang diajukan akan dikaji oleh para dewan redaksi *(team reviewer)*, sehingga artikel yang berkualitas terbaik akan diterbitkan pada setiap edisi.

Kriteria penilaian meliputi: orisinalitas, signifikansi, aktualitas dan tata tulis. Dewan Redaksi berwenang untuk menerima atau menolak naskah / artikel yang diajukan, maupun meminta penulis memperbaikinya. Apabila artikel dikirim kembali ke penulis untuk diperbaiki, maka komentar/saran dari team reviewer atau dewan redakasi perlu ditampung dalam artikel yang direvisi. Disamping itu, penulis dapat memberikan bantahan atas komentar/saran tersebut.

2. KATEGORI ARTIKEL

2.1. Artikel Non-populer

Artikel non-populer harus merupakan ringkasan dari laporan hasil riset yang isinya orisinil. Sistematikanya meliputi: Pendahuluan; Metodologi; Hasil dan Pembahasan; Kesimpulan dan Saran. Ditulis dalam bahasa Indonesia / bahasa Inggris dengan panjang tulisan maksimum tidak lebih dari 8 halaman

2.2. Artikel Populer

Artikel populer harus berisi tentang ide-ide atau gagasan baru dalam rangka memperkaya wawasan dan khasanah keilmuan dalam bidang rekayasa sipil, yang dapat dikembangkan dan dimanfaatkan oleh masyarakat luas. Ditulis dalam bahasa Indonesia / bahasa Inggris dengan panjang tulisan tidak lebih 4 halaman.

3. FORMAT

Artikel ditulis dengan Microsoft Word dengan satu spasi dan tipe huruf yang digunakan Trebuchet MS 10 pt. Ukuran halaman A4 dengan jarak margin atas & bawah 3,5; margin kiri & kanan 3; header & footer 2,5. Judul, abstrak, dan kata kunci ditulis dengan format satu kolom, selanjutnya ditulis dalam format dua kolom dengan jarak antar kolom 0,75.

4. PENGIRIMAN NASKAH

Naskah/artikel dikirim ke alamat:

Redaksi Jurnal APLIKASI
Program Diploma Teknik Sipil
Kampus ITS Manyar, Jl.Menur 127 Surabaya
Telp. 031-5947637; Fax. 031-5938025
e-mail: aplikasi@ce.its.ac.id

Penulis yang artikelnya yang dimuat akan menerima 1 (satu) eksemplar jurnal APLIKASI. Artikel yang tidak dimuat tidak dikembalikan kecuali atas permintaan penulis.

5. DAFTAR ACUAN

Daftar acuan disusun kebawah menurut abjad nama akhir penulis pertama dan tahun terbit

Aplikasi Teknik Sipil

Pengantar Redaksi

Jurnal APLIKASI

Vol.2, No.1, Pebruari 2007

Pada penerbitan edisi kedua ini, Jurnal Aplikasi menyajikan 5 (lima) topik artikel ilmiah yang terkait dengan bidang rekayasa sipil.

Redaksi mengucapkan terima kasih dan selamat kepada para penulis yang telah memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan ilmu dan teknologi di bidang rekayasa sipil. Redaksi juga mengucapkan banyak terima kasih kepada para pakar *(team reviewer)* yang telah meluangkan waktunya untuk menilai naskah/ artikel yang dimuat pada edisi ini.

Pada kesempatan ini, redaksi kembali mengundang pada praktisi, akdemisi dan peneliti pada bidang rekayasa sipil untuk mempublikasikan hasil penelitiannya maupun ide-ide atau gagasan baru yang orisinil. Redaksi juga memberikan kesempatan untuk berlangganan bagi para pembaca yang berminat.

Akhirnya redaksi hanya bisa berharap semoga artikel-artikel ilmiah yang termuat dalam jurnal ini dapat memberikan inspirasi bagi para pembaca untuk berperan aktif dalam rangka pengembangan ilmu dan teknologi terutama di bidang rekayasa sipil. *InsyaAllah!*

Redaksi
Jurnal APLIKASI

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Isi

Jurnal APLIKASI
Vol.2, No.1, Pebruari 2007

Analisa Perbandingan Perhitungan Geser Lentur Berdasarkan Truss Model
M. Sigit Darmawan
Hal. 1-10

Beberapa Pengalaman Menghadapi Serangan Rayap dan Upaya Pencegahannya pada Saat Pra dan Pasca Konstruksi
Imam Prayogo
Hal. 11-15

Identifikasi Kekuatan Batu Kumbung (Batu Putih) Sebagai Salah Satu Alternatif Bahan Bangunan
Moh Muntaha
Hal. 16-21

Pengaruh Operasi Bangunan Pengatur Kali Surabaya, Wonokromo, Kalimas terhadap Banjir Kota Surabaya dan Penyelesaiannya
Sismanto
Hal. 22-30

Analisa Model Gravity dan Analogi Fluida padaTrip Distribusi Penumpang Angkutan Kota Trayek Terminal Bratang – JMP Surabaya
Achmad Faiz Hadi P.
Hal. 31-39

Halaman ini sengaja dikosongkan

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Volume 2, Nomor 1, Pebruari 2007

Analisa Perbandingan Perhitungan Geser Lentur Berdasarkan Truss Model

M. Sigit Darmawan
Dosen D3 Teknik Sipil FTSP-ITS
email: msdarmawan@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Sebagian besar para peneliti geser pada beton bertulang telah setuju bahwa teori Truss Model merupakan cara yang meyakinkan untuk menganalisa geser. Akan tetapi hingga kini, belum ada kesepakatan mengenai Truss Model versi mana yang paling mendekati mekanisme geser. Studi ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan yang terdapat pada Truss Model usulan Nielsen, Hardjasaputra, Reineck dan Collins dkk untuk perhitungan geser lentur. Perumusan Truss Model ini juga akan dibandingkan dengan perumusan geser yang dipakai oleh SNI 03-2847, AS 3600 dan EC2. Hasil studi menunjukkan bahwa keempat Truss Model diatas hanya berlaku untuk balok dengan jumlah tertentu tulangan geser (q_v). Truss Model usulan Reineck berlaku untuk balok dengan $q_v \leq q_{vmin}$, Hardjasaputra dan Collins dkk berlaku untuk balok dengan $q_v \geq q_{vmin}$, dan Nielsen hanya berlaku untuk balok dengan $q_v = q_{vmax}$. Hal ini terjadi karena kriteria keruntuhan geser berubah dengan bertambahnya jumlah tulangan geser. Studi ini juga menunjukkan bahwa Truss Model usulan Collins dkk adalah yang paling mendekati hasil tes yang didapat dari survey literatur, sedangkan dari hasil uji beban ketiga Truss Model (selain Nielsen) menghasilkan prediksi rata-rata hanya ±60% dari beban runtuh. Hasil prediksi tersebut masih lebih rendah dibandingkan dengan prediksi berdasarkan ketiga peraturan beton diatas

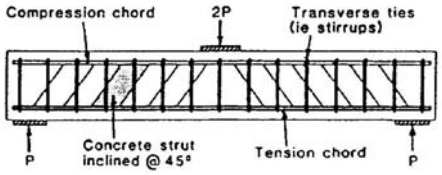
Kata kunci: *truss model, tulangan geser, beton bertulang*

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini perhitungan geser lentur yang terdapat pada hampir semua peraturan beton lebih banyak memakai perumusan yang diturunkan secara empiris. Perumusan empiris yang digunakan oleh masing-masing peraturan beton berbeda antara satu dengan yang lainnya. Sebagai akibatnya timbul ketidak-seragaman dalam perhitungan geser lentur. Sebaliknya untuk perhitungan momen lentur pendekatan yang dipakai oleh semua peraturan beton relatif sama, yaitu dengan pendekatan teoritis (model) yang diturunkan dari prinsip keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan.

Pada umumnya ada dua macam pendekatan yang dapat diambil dalam menurunkan sebuah perumusan, yaitu pendekatan empiris dan teoritis (model). Meskipun perumusan empiris telah menghasilkan perhitungan geser lentur yang aman dan konservatif (Somo dan Hong, 2006), pendekatan berdasarkan model lebih disukai (von Ramin dan Matamoros, 2006) karena mempunyai beberapa kelebihan, antara lain:

- aliran dari beban (load-path) menjadi lebih jelas sehingga perencana struktur tidak hanya sekedar memasukkan angka kedalam rumus yang ada
- lebih bersifat umum (general) dan tidak memerlukan percobaan yang terlalu banyak untuk membuktikan keabsahannya
- pada umumnya lebih hemat



Gambar 1. Truss Model untuk Perhitungan Geser Lentur

Untuk perhitungan geser lentur para ahli struktur beton telah sepakat bahwa perumusan yang diturunkan dari Truss Model dapat dipakai sebagai alternatif, selain memakai perumusan empiris. Dalam Truss Model (seperti terlihat pada Gambar 1) penampang beton dimodelkan sebagai sebuah sistim rangka batang, dimana tulangan yang ada dimodelkan sebagai batang tarik sementara beton yang

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

menerima tekan dimodelkan sebagai batang tekan. Namun demikian hingga saat ini belum dicapai kesepakatan mengenai Truss Model versi mana yang dipakai untuk perhitungan geser lentur.

Pada studi ini, Truss Model yang akan dijadikan obyek penelitian adalah Truss Model usulan dari Nielsen (1978), Hardjasaputra (1987), Reineck (1991) serta Collins dkk (1996). Pemilihan Truss Model ini juga untuk menunjukkan bagaimana perubahan (evolusi) yang terjadi pada anggapan yang dipakai pada masing-masing Truss Model diatas, yang sekaligus mencerminkan perkembangan penelitian mengenai geser yang telah dilakukan selama beberapa dekade. Perlu diketahui bahwa Truss Model usulan Collins dkk (Modified Compression Field Theory) ini telah diadopsi oleh Canadian Standard dan AASHTO LRFD specifications sejak tahun 1994.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah :

- membandingkan keempat Truss Model satu dengan yang lainnya, dengan data-data percobaan yang diperoleh dari literatur dan hasil percobaan pembebanan, serta dengan perhitungan geser lentur berdasarkan SNI 03-2847, AS 3600 dan Eurocode 2
- merekomendasikan salah satu Truss Model sebagai alternatif perhitungan geser selain memakai perumusan empiris yang telah ada dalam SNI 03-2847

Perlu disampaikan disini bahwa perumusan geser yang ada dalam SNI 03-2847 berasal dari perumusan yang dipakai oleh ACI 318-1999.

Pada penelitian ini dipakai batasan sebagai berikut :

- balok beton bertulang yang diteliti adalah balok langsing dengan beban lentur saja dan bersifat monotonik
- untuk keperluan perbandingan, semua faktor keamanan (faktor reduksi penampang dan faktor beban) diambil sama dengan 1,0

2. PERUMUSAN TRUSS MODEL

2.1. Nielsen

Truss Model usulan Nielsen (1978) diturunkan berdasarkan teori plastisitas, dimana stress field yang terjadi pada penampang beton akan mengimbangi beban luar. Sedangkan formulasi kekuatan geser nominal penampang, V_n adalah sebagai berikut:

$$V_n = \sqrt{q_v(v - q_v)}\, b_w d f_c' \quad \text{bila} \quad q_v \le \frac{v}{2} \quad \ldots\ldots (1)$$

$$V_n = \frac{1}{2} v b_w d f_c' \quad \text{bila} \quad q_v > \frac{v}{2} \quad \ldots\ldots (2)$$

dengan $q_v = \dfrac{A_v f_y}{b_w . s . f_c'}$ dan $v = 0.7 - \dfrac{f_c'}{200}$

A_v, f_y dan s adalah luas penampang, tegangan leleh dan jarak tulangan geser, f_c' adalah mutu beton, b_w dan d adalah lebar dan tinggi efektif balok.

Adapun besarnya sudut batang tekan θ adalah

$$\cot\theta = \sqrt{\frac{v}{q_v} - 1} \le 2{,}5 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

2.2. Hardjasaputra

Asumsi yang dipakai oleh Nielsen (1978) dan Collins dkk (1996) dalam menurunkan perumusan Truss Model adalah sudut batang tekan sejajar dengan sudut retak. Sebaliknya Hardjasaputra (1987) memakai anggapan sudut batang tekan tidak sejajar dengan retak yang terjadi. Hal ini berarti ada transfer gaya melintasi retak berupa gaya gesekan (biasa disebut V_c). Namun demikian Hardjasaputra tidak memperhitungkan besarnya gaya gesekan tersebut secara eksplisit (tidak memisahkan nilai antara V_c dan V_s). Adapun formulasi kekuatan geser nominal penampang, V_n adalah sebagai berikut:

$$V_n = q_v \cdot b_w d f_c' \cot\theta, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

$$= b_w \cdot d \sin\theta \cos\theta \sigma_{ds} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

dimana σ_{ds} adalah tegangan yang terjadi pada batang tekan. Untuk menentukan kuat geser nominal V_n, berdasarkan model ini harus dilakukan perhitungan dengan cara iteratif sampai kondisi kinematis berdasarkan persamaan (6) dapat dipenuhi.

$$tan(\beta_r - \theta) = \frac{\Delta s / a_{cr}}{\Delta n / a_{cr}} \quad \text{..... (6)}$$

dimana Δn adalah perpindahan retak tegak lurus sumbu retak, Δs perpindahan retak sejajar sumbu retak, a_{cr} adalah jarak retak diukur tegak lurus sumbu retak dan β_{cr} adalah sudut retak. Δn dan Δs tergantung pada nilai regangan tulangan tarik, regangan tulangan geser dan regangan batang tekan.

2.3. Reineck

Reineck (1990) mengusulkan Truss Model dengan asumsi sudut batang tekan lebih kecil dari sudut retak seperti halnya Hardjasaputra. Dengan asumsi ini berarti ada transfer gaya melintasi retak berupa gaya gesekan/aggregat interlock action (biasa disebut V_c). Dengan memakai model tersebut serta dengan menganggap bahwa retak adalah lurus dan membuka dengan arah tegak lurus sumbu retak, Reineck menurunkan formulasi untuk deformasi badan balok. Berdasarkan anggapan tersebut, sudut batang tekan dapat ditentukan dengan cara iteratif. Adapun perumusan kekuatan gesernya adalah sebagai berikut :

$$V = V_c + V_s = V_c + \frac{A_v}{s} f_y \cdot z \cdot cot\beta_{cr} \quad \text{..... (7)}$$

dimana *z* jarak antara gaya tarik pada tulangan bawah dengan gaya tekan pada daerah tekan. Sedangkan V_c dapat dihitung dari perumusan dibawah ini:

$$V_f = b_w z.\,[\,\tau_{f0} + \tau_{f\sigma}(1 - cot\beta_{cr} / \mu_f)] \quad \text{..... (8)}$$

dimana τ_{f0} adalah komponen gaya geser yang diperhitungkan tanpa gaya normal pada retak, $\tau_{f\sigma}$ komponen gaya geser yang diperhitungkan dengan gaya normal pada retak dan μ_f adalah koefisien gesek yang harganya diambil sebesar 1,7.

2.4. Collins dkk.

Collins dkk (1996) mengusulkan Truss Model yang didasarkan pada prinsip keseimbangan dan kompatibilitas regangan. Kekuatan geser yang timbul, ditentukan dengan memakai hubungan tegangan-regangan yang bersesuaian untuk baja tulangan dan beton dalam kondisi retak diagonal. Adapun formulasi dari teori ini adalah sebagai berikut:

$$V_n = V_c + V_s = \beta\sqrt{f'_c}\, b_w jd + \frac{A_v f_y z \cot\theta}{s} \quad \text{..... (9)}$$

dimana V_c adalah kekuatan geser yang diberikan oleh tegangan tarik sisa pada beton yang dalam keadaan retak dan V_s adalah kekuatan geser yang diberikan oleh tegangan tarik pada tulangan geser. Sedangkan β adalah sebuah faktor yang tergantung pada lebar retak, ukuran agregat maksimum, jarak rata-rata retak diagonal dan regangan tarik utama pada penampang beton dalam kondisi retak.

Tabel 1. Perumusan Kuat Geser Nominal Beton (V_c) & Kuat Geser Nominal Tulangan (V_s)

Standar Beton	V_c	V_s
AS 3600 Pasal 8.2	$V_c = \beta_1 b_w d \cdot \sqrt[3]{\frac{A_s}{b_w d} f'_c}$	$V_s = \frac{A_v f_y d \cot\theta}{s}$
Eurocode 2 Pasal 4.3.2	$V_c = 0{,}0525\left(f'_c\right)^{\frac{2}{3}} k(1{,}2 + 40\rho) b_w d$	$V_s = \frac{A_v f_y 0.9d \cot\theta}{s}$ (General Method) $V_s = \frac{A_v f_y 0.9d}{s}$ (Standar Method)
SNI 03-2847 Pasal 13.3	$V_c = \frac{1}{7}\left[\sqrt{f'_c} + (120\rho V_u d / M_u)\right]$ atau $V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c} b_w d$	$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Tabel 2. Kriteria Keruntuhan untuk Truss Model

Truss Model	Kriteria Keruntuhan
Nielsen	tulangan geser meleleh bersamaan batang tekan runtuh
Hardjasaputra	besarnya regangan tulangan geser
Reineck	gaya gesekan (friction) mencapai kondisi batas
Collins dkk	tulangan geser meleleh sebelum batang tekan runtuh

Tabel 3. Data Masukan untuk Truss Model

Truss Model	Data Masukan
Nielsen	sudut batang tekan ($\cot\theta \leq 2{,}5$)
Hardjasaputra	besarnya regangan tulangan geser dan sudut retak
Reineck	sudut retak
Collins dkk.	jarak retak

2.5. Perumusan Geser Berdasarkan SNI 03-2847, AS 3600 & Eurocode 2

Sebagai pembanding untuk perumusan geser berdasarkan Truss Model, pada Tabel 1 disajikan perumusan geser berdasarkan SNI 03-2847, AS 3600 dan Eurocode 2. Kuat geser nominal total adalah jumlah dari kuat geser nominal beton dan tulangan.

Dari tinjauan pustaka yang telah dilakukan diperoleh perbedaan yang cukup besar antara Truss Model yang satu dengan yang lainnya. Nielsen serta Collins dkk memakai asumsi batang tekan sejajar dengan arah retak, sementara Hardjasaputra dan Reineck beranggapan sudut batang tekan tidak sejajar (lebih kecil) dengan arah retak. Perbedaan mendasar lainnya adalah kriteria keruntuhan geser yang dipakai oleh masing-masing perumus Truss Model seperti terlihat pada Tabel 2. Adanya perbedaan asumsi tersebut serta kriteria keruntuhan yang dipakai, dengan sendirinya akan menimbulkan perbedaan prediksi kekuatan geser.

Dari tinjauan pustaka diketahui pula bahwa keempat Truss Model masih memerlukan data yang harus ditentukan dari percobaan seperti disajikan pada Tabel 3. Hal ini tentu saja membuka peluang bagi perumus Truss Model untuk menyesuaikan prediksi kekuatan gesernya dengan hasil percobaan. Adanya data masukan ini menjadi titik lemah dari Truss Model yang bersangkutan, meskipun secara fisik model ini mampu memberikan gambaran yang lebih jelas tentang mekanisme geser dibandingkan perumusan empiris.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu membandingkan prediksi berdasarkan Truss Model dengan

- hasil tes geser yang ada dalam literatur
- hasil tes pembebanan (eksperimen)

Eksperimen dilakukan untuk memperoleh hasil yang cukup obyektif dan tidak semata-mata tergantung pada hasil percobaan terdahulu, serta untuk melihat apakah kriteria keruntuhan yang dipakai dalam Truss Model sesuai dengan kenyataan yang sesungguhnya. Tes pembebanan dilakukan di laboratorium struktur jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.

4. MATERIAL DAN PENGUJIAN

4.1. Penulangan

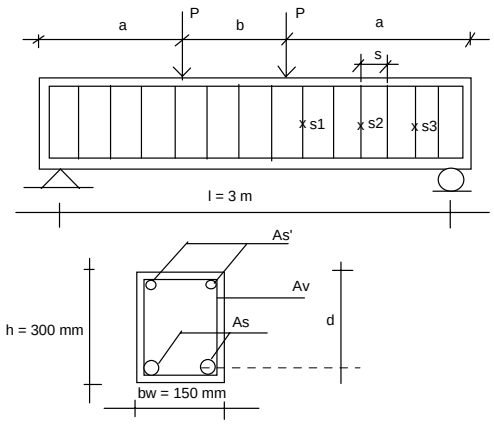
Dari hasil uji tarik tulangan diketahui tulangan tarik longitudinal mempunyai tegangan leleh f_y sebesar 470 MPa, sedangkan tulangan geser mempunyai tegangan leleh f_y sebesar 320 MPa.

4.2. Beton

Pengujian benda uji silinder dilakukan bersamaan dengan uji beban balok yang pada umumnya dilakukan setelah balok berumur minimal 4 minggu. Hasil tes tekan menunjukkan bahwa kekuatan tekan bervariasi antara 25 MPa hingga 39 MPa.

Adapun model test yang dipakai untuk uji beban dapat dilihat pada Gambar 2. Model tersebut dipilih untuk mendapatkan gaya geser yang tetap pada daerah shear span. Dalam studi ini yang dipakai sebagai variabel dalam uji beban adalah :

a. Luas tulangan tarik (A_s)
b. Persentase tulangan geser (q_v)
c. Rasio a/d



Gambar 2. Model Tes Pembebanan Balok & Penempatan Strain Gage

Tabel 5. Data Balok Beton Bertulang

Balok	d (mm)	a/d	f'_c MPa	A_s (mm^2)	A_s' (mm^2)	ρ (%)	$q_v = (A_v f_y)/(b_w s f'_c)$
B-1	247	3,44	25	1386 (4D21)	693 (2D21)	4,00	0,021 (ϕ5-200)
B-2	247	3,44	25	2079 (6D21)	1039 (3D21)	6,00	0,042 (ϕ5-100)
B-3	245	3,47	25	1733 (5D21)	1039 (3D21)	5,00	0,041 (ϕ7-200)
B-4	234	3,63	25	2079 (6D21)	1386 (4D21)	6,00	0,055 (ϕ7-150)
B-5	233	3,65	25	2079 (6D21)	1386 (4D21)	6,00	0,068 (ϕ9-200)
B-6	261	4,00	39	1039 (3D21)	60 (2ϕ6)	2,66	0,010 (ϕ5-200)
B-7	269	4,50	30	1039 (3D21)	60 (2ϕ6)	2,66	0,000

ρ=persentase tulangan tarik=$A_s/(b_w d)$

Dimensi balok dibuat tetap (150 mm × 300 mm), sementara besarnya perbandingan antara a dan d (a/d) berkisar antara 3,44 s/d 4,50 (lihat Gambar 2). Data balok yang diuji dapat dilihat pada Tabel 5. Persentase tulangan tarik (ρ) dari balok dibuat cukup besar untuk menghindari keruntuhan akibat momen lentur. Balok dibebani sampai terjadi keruntuhan geser dengan cara menaikkan beban P secara bertahap menggunakan pembebanan secara monotonik. Setiap kenaikan beban 10 KN, perambatan retak diamati dan ditandai.

Untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada tulangan geser selama dibebani, dipasang strain gage pada 3 balok (B-3, B-4 dan B-5). Hal ini dilakukan untuk mengetahui kebenaran asumsi beberapa Truss Model (Collins dkk dan Hardjasaputra) yang memakai regangan pada tulangan geser sebagai kriteria keruntuhan.

Posisi strain gage yang dipasang dapat dilihat pada Gambar 2. Dial gage dipasang pada tengah bentang untuk memonitor lendutan yang terjadi

5. HASIL YANG DIPEROLEH

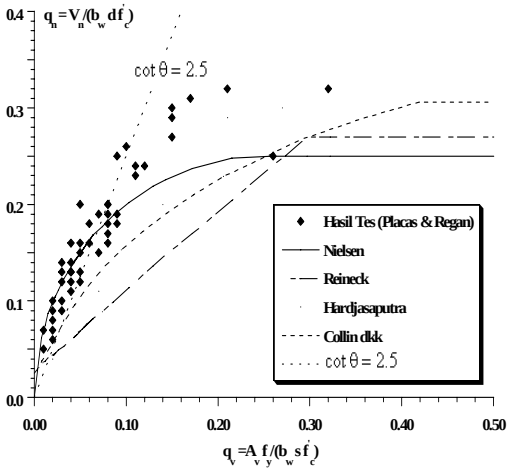
5.1. Truss Model dan data tes geser yang ada dalam literatur

Cara ini dilakukan dengan membandingkan kekuatan geser berdasarkan keempat Truss Model dengan hasil tes geser yang didapat dari survey literatur seperti terlihat pada Gambar 3. Hasil tes geser tersebut berasal dari percobaan geser yang telah dilakukan di Denmark, Jerman dan Inggris seperti dilaporkan oleh Placas dan Regan (1971). Data tes geser tersebut mencakup variabel yang bervariasi untuk mutu beton, mutu tulangan, jumlah tulangan lentur dan geser, shear-span depth ratio dan ukuran balok.

Gambar 3 menunjukkan bahwa untuk q_v<0,1, Truss Model usulan Nielsen menghasilkan

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

prediksi kekuatan geser yang merupakan rata-rata dari hasil percobaan dan bukannya batas bawah seperti yang diasumsikan Nielsen untuk menurunkan perumusan geser yaitu memakai lower bound analysis. Untuk mengatasi kelemahan ini, Nielsen membatasi nilai sudut batang tekan (cot θ<2,5) untuk nilai gaya geser yang rendah. Pembatasan ini tidak didukung dengan alasan yang rasional dan hanya untuk menyesuaikan dengan hasil percobaan.

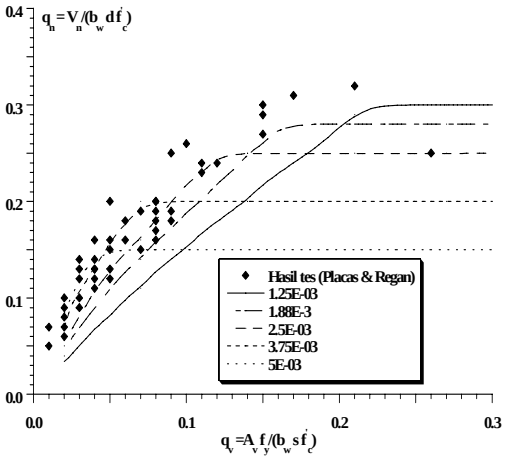


Gambar 3. Perbandingan antara Truss Model dengan Hasil Tes

Kelemahan model ini terjadi karena asumsi keruntuhan yang dipakai (batang tekan runtuh bersamaan lelehnya tulangan geser) tidak terjadi, kecuali untuk jumlah tertentu tulangan geser yaitu $q_v=q_{vmax}=\pm0,25$ (versi Nielsen). Sedangkan untuk nilai $q_v<q_{vmax}$, tulangan geser akan meleleh sebelum batang tekan runtuh dan untuk $q_v>q_{vmax}$, batang tekan akan runtuh sebelum tulangan geser meleleh (prinsip yang sama juga berlaku untuk balok dengan beban momen lentur yaitu adanya provisi ρ_{max}). Hal ini akan ditunjukkan pada bagian 5.2. Kelemahan kedua dari model ini adalah untuk $q_v=0$ (balok tanpa tulangan geser), model ini menghasilkan kekuatan geser=0. Hal ini bertentangan dengan hasil percobaan yang menunjukkan bahwa balok tanpa tulangan geser mempunyai kekuatan geser yang cukup berarti (V_c).

Gambar 3 menunjukkan pula bahwa Truss Model usulan Collins dkk menghasilkan prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan usulan Nielsen. Hal ini disebabkan kiteria keruntuhan geser yang dipakai jauh lebih tepat dibandingkan yang dipakai Nielsen, yaitu tulangan geser akan meleleh sebelum batang tekan runtuh untuk nilai $q_v<q_{vmax} = \pm 0,4$ (versi Collins dkk). Model ini juga berlaku untuk balok tanpa tulangan geser. Meskipun model ini memerlukan jarak retak sebagai data masukan, dari hasil analisa yang telah dilakukan variabel ini tidak mempunyai pengaruh yang berarti terhadap besarnya kekuatan geser.

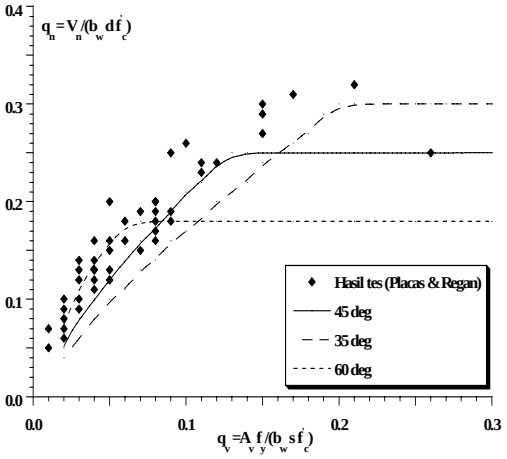
Truss Model usulan Hardjasaputra memerlukan data masukan berupa nilai sudut retak dan nilai regangan pada tulangan geser. Dari hasil analisa yang telah dilakukan, variabel ini terbukti mempunyai pengaruh yang besar terhadap nilai kekuatan geser seperti terlihat pada Gambar 4 dan 5. Hal ini tentu saja membuka peluang bagi Hardjasaputra untuk menyesuaikan prediksi kekuatan gesernya dengan hasil percobaan. Untuk analisa perbandingan dalam Gambar 3, anggapan yang dipakai pada Truss Model usulan Hardjasaputra adalah besarnya sudut retak 35^o dan besarnya regangan geser pada saat keruntuhan terjadi sebesar regangan lelehnya. Nilai diatas diambil untuk mendapatkan prediksi kekuatan geser yang konservatif.



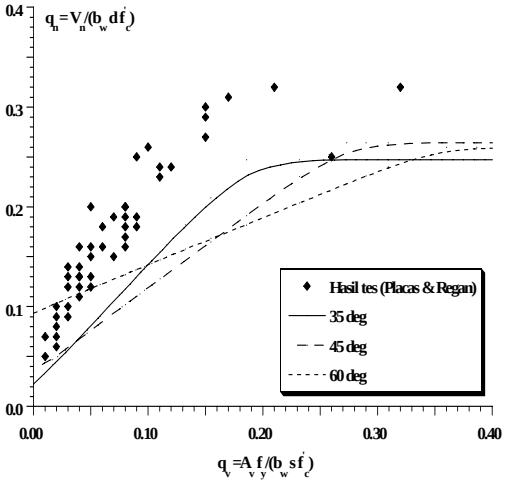
Gambar 4. Pengaruh Regangan terhadap Kekuatan Geser Hardjasaputra

Kelemahan selanjutnya dari model ini adalah tidak berlaku untuk balok dengan nilai $q_v<0,016$, termasuk balok tanpa tulangan geser. Hal ini kemungkinan besar

disebabkan kriteria keruntuhan geser yang dipakai yaitu keruntuhan geser tergantung pada besarnya regangan pada tulangan geser hanya berlaku untuk balok dengan jumlah tulangan geser yang agak banyak (q_v> 0,016).



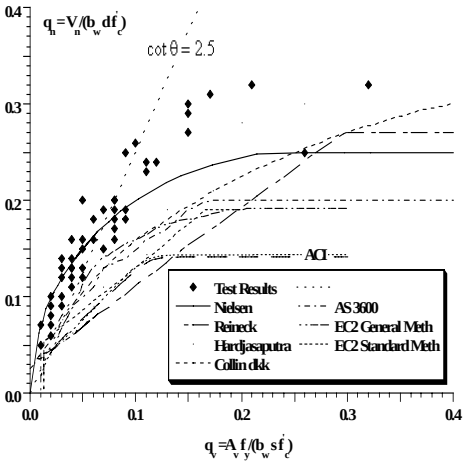
Gambar 5. Pengaruh Sudut Retak terhadap Kekuatan Geser Hardjasaputra



Gambar 6. Pengaruh Sudut Retak terhadap Kekuatan Geser Reineck

Untuk Truss Model usulan Reineck memerlukan data masukan berupa sudut retak. Seperti halnya pada Truss Model usulan Hardjasaputra, variabel ini mempunyai pengaruh yang relatif cukup besar terhadap nilai kekuatan geser (lihat Gambar 6). Hal ini juga membuka peluang bagi Reineck untuk menyesuaikan prediksi kekuatan geser berdasarkan model ini dengan hasil tes. Untuk keperluan perbandingan pada Gambar 3 dipakai asumsi sudut retak sebesar 45^o.

Seperti halnya Collins dkk, model yang diusulkan Reineck berlaku baik untuk balok dengan tulangan geser maupun tanpa tulangan geser. Namun demikian bila dibandingkan dengan Truss Model lainnya, untuk balok dengan tulangan geser (q_v> 0,03) model ini menghasilkan prediksi kekuatan geser yang paling konservatif. Hal ini kemungkinan besar disebabkan kriteria keruntuhan yang dipakai, yaitu keruntuhan geser terjadi bila gaya geser akibat gesekan mencapai kondisi batas, hanya terjadi untuk balok tanpa atau dengan jumlah tulangan geser sedikit. Dengan bertambahnya tulangan geser, maka kriteria keruntuhan geser akan berubah.



Gambar 7. Perbandingan antara Truss Model, Standar Beton dan Hasil Test

Pada Gambar 7 ditampilkan hasil perbandingan antara keempat Truss Model dengan prediksi kekuatan geser berdasarkan SNI 03-2847, AS 3600 dan Eurocode 2. Gambar 7 menunjukkan bahwa Truss Model usulan Reineck adalah yang paling konservatif dan sebaliknya Truss Model usulan Nielsen adalah yang paling tidak konservatif bila dibandingkan prediksi kekuatan geser berdasarkan ketiga standar beton diatas. Yang lebih mendekati hasil tes adalah prediksi kekuatan geser berdasarkan Truss Model usulan Collins dkk,

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Hardjasaputra, AS 3600 dan Eurocode 2. Standar beton yang menghasilkan kekuatan geser paling konservatif adalah SNI 03-2847, meskipun masih sedikit lebih baik bila dibandingkan Truss Model usulan Reineck. Berdasarkan hal ini maka Truss Model usulan Collins dkk dapat direkomendasikan sebagai alternatif perhitungan geser lentur karena relatif lebih sederhana bila dibandingkan Truss Model usulan Hardjasaputra.

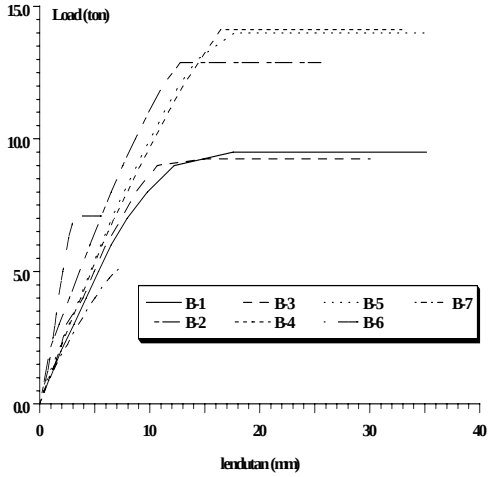
5.2. Perbandingan Truss Model dengan uji beban

Dari hasil uji beban pada enam (6) buah balok beton bertulang didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 6, sementara dari hasil pengukuran lendutan diperoleh Gambar 8. Gambar tersebut menunjukkan bahwa balok tanpa tulangan geser akan mengalami keruntuhan brittle, sementara untuk balok dengan tulangan geser akan mengalami keruntuhan ductile karena ditandai dengan lendutan yang cukup berarti sebelum balok runtuh (7,5 mm s/d 35 mm).

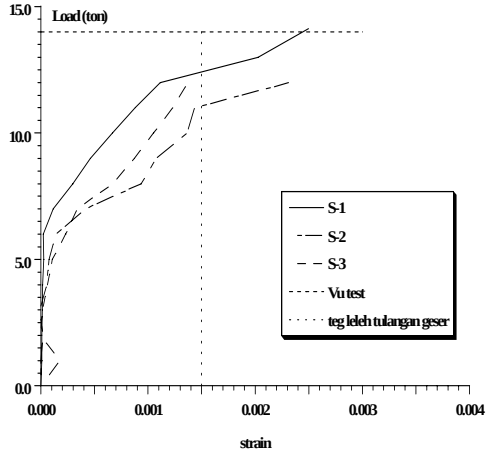
Hasil pengukuran regangan tulangan geser memakai strain gage pada balok B-4 disajikan pada Gambar 9. Gambar 9 menunjukkan bahwa pada saat keruntuhan terjadi, regangan tulangan geser telah melampaui regangan lelehnya (ε_y). Hal ini sesuai dengan anggapan yang dipakai oleh Collins dkk dan Hardjasaputra yaitu pada saat keruntuhan geser terjadi, regangan pada tulangan geser akan sama atau melebihi regangan lelehnya, dengan catatan bahwa balok mempunyai persentase tulangan geser $q_v<q_{vmax}$. Perlu disampaikan disini bahwa tidak semua strain gage masih berfungsi ketika beban mencapai beban runtuh. Beberapa strain gage (bahkan semua) dapat mengalamai kerusakan akibat retak pada beton selama proses pengujian berlangsung, sebelum beban runtuh tercapai.

Dari pengamatan beton diantara retak (batang tekan), tidak ada tanda-tanda bahwa beton telah mencapai regangan hancurnya. Hal ini tidak bersesuaian dengan anggapan Nielsen yaitu lelehnya tulangan geser akan terjadi bersamaan runtuhnya batang tekan.

Adapun hasil perbandingan antara prediksi kekuatan geser berdasarkan keempat Truss Model dan ketiga standar beton disajikan dalam Tabel 7. Tabel 7 menunjukkan bahwa hasil perhitungan berdasarkan Truss Model lebih konservatif bila dibandingkan dengan perhitungan geser berdasarkan ketiga standar beton diatas, khususnya AS 3600 dan Eurocode 2. Namun demikian kesimpulan ini hanya diambil berdasarkan uji beban pada 7 buah balok beton dengan variabel yang sangat terbatas.



Gambar 8. Hubungan antara Beban dan Lendutan



Gambar 9. Hubungan antara Regangan Tulangan Geser dengan Beban (balok B-4)

Tabel 8. Kriteria Keruntuhan Geser

q_v	Kriteria keruntuhan	Truss Model	Sifat
$q_v = 0$	gaya gesekan mencapai kondisi batas	Reineck	Brittle
$q_v \leq q_{vmin}$	gaya gesekan mencapai kondisi batas	Reineck	Ductile
$q_v \geq q_{vmin}$	tulangan geser leleh sebelum batang tekan runtuh	Collins dkk Hardjasaputra	Ductile
$q_v = q_{vmax}$	tulangan geser leleh bersamaan dengan batang tekan runtuh	Nielsen	Brittle
$q_v \geq q_{vmax}$	batang tekan runtuh sebelum tulangan geser leleh	Plastic Theory	Brittle

6. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- tidak satupun Truss Model yang berlaku untuk semua kondisi jumlah tulangan geser (q_v). Truss Model usulan Nielsen hanya berlaku untuk $q_v=q_{vmax}$, Truss Model usulan Reineck berlaku untuk balok tanpa tulangan atau balok dengan q_v yang kecil ($q_v<q_{vmin}$), sedangkan Truss Model usulan Collins dkk dan Hardjasaputra berlaku untuk $q_v>q_{vmin}$
- dari uji beban didapat bahwa prediksi kekuatan geser berdasarkan ketiga Model diatas (selain Nielsen) hanya mencapai rata-rata 60%, sedangkan prediksi berdasar AS 3600 dan Eurocode 2 bisa mencapai rata-rata 80% .
- dari hasil analisa geser dengan memakai Truss Model dihasilkan nilai q_{vmax} antara 0,25 s/d 0,4, sementara berdasarkan standar beton hanya berkisar antara 0,12 s/d 0,20. Dengan demikian pemakaian Truss Model untuk perhitungan geser akan memungkinkan pemakaian balok dengan dimensi yang lebih kecil
- dari hasi tes beban diketahui bahwa Truss Model usulan Nielsen (dengan $\cot\theta \leq 2{,}5$) sekalipun mempunyai prediksi kekuatan geser rata-rata sebesar 82%, juga mempunyai nilai standar deviasi yang paling besar (31%) dibandingkan dengan yang lainnya
- berdasarkan hasil tersebut diatas maka Truss Model yang direkomendasikan sebagai alternatif perhitungan geser adalah Truss Model usulan Collins dkk. Hal ini didasarkan pada hasil analisa geser dimana model ini menghasilkan prediksi yang lebih baik dibandingkan Truss Model usulan Nielsen dan Reineck, serta perumusannya jauh lebih sederhana bila dibandingkan dengan Truss Model usulan Hardjasaputra. Selain itu model ini berlaku juga untuk balok tanpa tulangan geser, meskipun cenderung over-konservatif

7. DAFTAR ACUAN

AASHTO LRFD. 2004. *Bridge Design Specifications and Commentary 3rd Edition*. American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, D.C., 1264 pp.

ACI Committee 318. 1999. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 430 pp.

Bentz, E.C.; Vecchio, F.J.; Collins, M.P. 2006. *Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements*. ACI Structural Journal, V. 103, No. 4, July-August, pp. 614-624.

CSA Committee A23.3. 2004. *Design of Concrete Structures (CSA A23.3-04)*. Canadian Standards Association, Mississauga, 214 pp.

Collins, M.P.; Mitchell, D.; Adebar, P.; Vecchio, F.J. 1996. *A General Shear Design Model*. ACI Sructural Journal, V. 93, No. 1, January-February, pp. 36-45.

Commission of the European Communities. 1989. *Eurocode No. 2: Design of Concrete Structure, Part 1: General Rules and Rules for Buildings*, Oct.

Hardjasaputra, H. 1987. *Consideration of the State of Strain in the Shear Design of Reinforced concrete and Prestressed*

Concrete Girders (in German), Dr.-Ing. thesis, University of Stuttgart, pp. 1-173.

Nielsen, M.P.; Braestrup, M.W.; Jensen, B.C.; Bach, F. 1978. *Concrete Plasticity: Beam Shear-Shear in Joints-Punching Shear*. Special Publication, Danish Society for Structural Science and Engineering, Copenhagen, pp. 1-129.

Placas, A. and Regan, P.E. 1971. *Shear Failure of Reinforced Concrete Beams*. Journal ACI, V. 68, Oct., pp. 763-773.

Reineck, K.H. 1991. *Modeling of Member with Transverse Reinforcement*. IABSE Colloquium Stuttgart 1991, IABSE Report, V. 62, Zurich, pp. 481-488.

SNI 03-2847. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.

Somo, S. and Hong, H.P. 2006. *Modeling error analysis of shear predicting models for RC beams*. Structural Safety, V. 28, pp. 217–230

Standard Association of Australia. 2001. *Australian Standard for Concrete Structures,(AS 3600-2001)*. North Sydney, 176 pp.

Bentz, E.C.; Vecchio, F.J.; Collins, M.P. 2006. *Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements*. ACI Structural Journal, V. 103, No. 4, July-August, pp. 614-624.

von Ramin, M. and Matamoros, A.B. 2006. *Shear Strength of Reinforced Concrete Members Subjected to Monotonic Loads.* ACI Structural Journal, V. 103, No. 1, January-February, pp. 83-92.

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Volume 2, Nomor 1, Pebruari 2007

Beberapa Pengalaman Menghadapi Serangan Rayap Dan Upaya Pencegahannya pada Saat Pra dan Pasca Konstruksi

Imam Prayogo
Dosen D3 Teknik Sipil FTSP-ITS
email: imam@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Serangan rayap akhir-akhir ini telah menjadi perhatian para ahli konstruksi, terutama bangunan gedung. Sebanding dengan naiknya jumlah pihak yang dirugikan akibat serangannya, semakin besar pula nilai kerugian materi maupun non materi yang ditimbulkan. Sehingga kemajuan teknologi pengendaliannyapun ikut semakin bervariasi. Dari beberapa pengalaman yang terpantau selama ini, baik di lingkungan kampus ITS maupun di tempat lain pada tingkat regional dan nasional, serangan akibat rayap sangat mungkin untuk dikendalikan mulai dari tahap Pra Konstruksi (Perencanaan) hingga Pasca Konstruksi (Operasi dan Perawatan). Rencana pengendalian cara Pisik, pada tahap perencanaan konstruksi dan pengendalian Non Pisik di tahap Operasi & Perawatan yang telah dilakukan, diyakini lebih berhasil guna, karena cara demikian lebih rasional atau tidak emosional serta terjamin kelanjutannya. Dengan demikian tipologi Manajemen Konstruksi yang berperan selama siklus hidup proyek *(project life cycle)* dapat dimanfaatkan bagi pengendalian rayap yang menggunakan pendekatan rasional.

Kata kunci: *Rayap, Serangan, Pengendalian, Pra-konstruksi, Pasca-konstruksi*

1. PENDAHULUAN

Serangan rayap dari waktu ke waktu diindikasikan tidak ada penurunan yang signifikan, tetapi sebaliknya justru ada gejala peningkatan yang cukup mengkhawatirkan bahayanya. Kondisi ini dapat dilihat dari semakin seringnya didengar keluhan tentang serangan rayap, munculnya banyak promosi maupun penawaran pengendalian serangan rayap dan banyaknya perusahaan *Pest Control Operator (PCO)* serta semakin seringnya diadakan diskusi, seminar ataupun pelatihan bagi upaya pengenalan kehidupan rayap beserta cara pengendaliannya. Disamping itu belum terhitung pula gigihnya para peneliti di dalam melaksanakan penelitian bagi upaya membongkar segala misteri tentang rayap.

Tanpa bermaksud mengecilkan arti perlindungan terhadap lingkungan hidup, segala upaya pembasmian rayap sangat diharapkan oleh banyak pihak, terutama bagi mereka yang pernah mengalami kerugian akibat serangan rayap. Bahkan lebih dari itu sering muncul pemikiran seandainya di lingkungan sekitar kita bisa terbebaskan dari kehidupan rayap, niscaya segala kerugian akibat serangan rayap dapat dieliminasi, terlepas dari hal tersebut akan dapat menimbulkan masalah pengurangan kesempatan kerja para *PCO*. Apalagi sekiranya pembasmian tersebut dapat dilaksanakan dalam waktu secepatnya dan sangat jelas bukti keberhasilannya.

Secara psikologis harapan tersebut muncul dari para penderita kerugian akibat serangan rayap, untuk meluapkan rasa dendam terhadap rayap. Namun pengalaman menunjukkan bahwa pemberantasan rayap secara emosional justru sama dengan memberikan kesempatan berikutnya bagi rayap untuk melakukan penyerangan pada obyek yang sama atau di dekatnya. Hal tersebut merupakan salah satu bentuk kelemahan di dalam usaha pembasmian rayap.

Dengan telah diterbitkannya SNI-03-2404-1991, maka segala usaha 'pembasmian' rayap menjadi lebih terarah pada usaha 'pengendalian' rayap, baik pada perlakuan pra konstruksi *(pre-construction treatment)* maupun perlakuan pasca konstruksi *(post-construction treatment)*.

Berikutnya untuk melindungi kayu elemen maupun komponen bangunan telah diterbitkan pula SNI-03-2405-1991. Diharapkan mencegah kerugian akibat serangan rayap tidak harus menimbulkan gangguan pada lingkungan hidup, termasuk kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh musnahnya kehidupan rayap dari sekitar

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

kita. Adanya standar pengendalian rayap seperti tersebut di atas telah membuka pula wacana kegiatan pengendalian rayap dari bentuk usaha *sporadic represive***,** yang mengandalkan upaya pembasmian rayap hanya dititik serangannya, menjadi *systemic institutional* yaitu memasukkan proses dan prosedur pengendalian rayap mulai dari tahap perencanaan konstruksi hingga operasi dan perawatannya**.**

2. SERANGAN RAYAP & KERUSAKANNYA

Pada saat awal pembangunan gedung, jarang sekali pihak-pihak yang terkait dengan proses pelaksanaan pembangunan tersebut sadar, memahami atau waspada terhadap serangan rayap. Kalaupun ada yang mengingatkan, tidak semua pihak dapat segera memahami atau mendukung, apalagi bila dijelaskan segala proses pencegahan sebagai bagian dari pengendalian, beserta nilai nominal pembiayaannya. Selama ini bahaya serangan rayap selalu dihubungkan dengan kayu atau bahan sejenisnya yang mengandung selulosa dan tidak diawetkan maupun yang bermutu rendah, sehingga bila diyakini konstruksi bangunan gedung telah terbuat dari bahan bangunan non kayu, diantaranya beton, baja dan tembok batu, maka dianggap telah terbebaskan dari serangan rayap.

Fakta di lapangan telah memberikan penjelasan yang sangat baik bagi kita semua, dimana bangunan gedung yang lantai terbawahnya terbuat dari konstruksi beton bertulang, berada pada ketinggian 1,5m di atas permukaan tanah tetap terserang rayap setelah mencapai umur bangunan antara 15 – 20 tahun, dengan bentuk kerusakan yang sangat fatal, yaitu memerlukan penggantian komponen bangunan yang terbuat dari kayu, meskipun berada pada ketinggian > 7m. Seperti yang ditunjukkan pada contoh seperti pada gambar 3,4 dan 5. Bentuk keteledoran, kesalahan pelaksanaan dan kelengahan yang menjadi peluang besar bagi serangan rayap.

Selain dari itu hasil pemeriksaan di laboratorium IPB, pada komplek bangunan tersebut telah ditemukan tidak kurang dari 9 spesies rayap yang hidup dan menyerang semua bahan bangunan yang bisa dijadikan mangsanya. Sasaran dan tingkat kerusakan yang ditimbulkan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kerusakan komponen dan elemen bangunan akibat serangan rayap

NO	KOMPONEN/ELEMEN BANGUNAN	BAHAN	POSISI	KERUSAKAN
1.	Struktur atap (kuda-kuda)	Kayu	10,5 + 1,5 m	Perlemahan dan kehancuran titik simpul/batang.
2.	Rangka plafond	Kayu	2,8 + 1,5 m	Perlemahan dan kehancuran titik simpul/batang
3.	Rangka partisi/pembatas ruang	Kayu	1,5 - 2,8 m	Kerusakan batang
4.	Kuzen jendela dan daun	Kayu	1,5 + 0,80 m	Keropos - hancur
5.	Dinding	Batu-bata	1,5 - 2,8 m	Terisi liang kembara
6.	Pipa kabel listrik dan stop kontak	Besi & Plastik	1,3 - 4,0 m	Terisi liang kembara

Sumber : Survey dan Pengendalian rayap di kampus ITS, 1996-2000)

Dari tabel di atas nampak bahwa serangan rayap terhadap mangsanya tidak hanya menimbulkan kerusakan pada bahan bangunan kayu, tetapi juga dari bahan yang lain. Meskipun tidak dimangsa oleh rayap, pipa besi kabel listrik dan stop kontak plastik dapat mengalami kerusakan akibat terisi liang kembara, sehingga listrik tidak dapat berfungsi secara normal atau rusak. Dengan demikian patut untuk diperhatikan bahwa serangan rayap tidak selalu dalam bentuk memangsa sasarannya tetapi juga dapat melapisi atau menimbun dengan liang kembaranya.

Perlu diketahui bahwa terdapat ratusan jenis/species rayap di Indonesia (Nandika, D.2003. RAYAP *biologi dan pengendaliannya)*, beberapa diantaranya memang mempunyai kemampuan menyerang sasarannya dengan sangat baik, meskipun sasaran tersebut berada jauh di atas permukaan tanah. Sehingga tidak semua pihak memahami secara baik dan tepat perilaku dari jenis rayap ini kecuali para ahli. Demikian pula sebaliknya daya serang yang laten dari rayap tersebut sering dianggap ringan oleh para ahli bangunan, terutama yang belum memahaminya.

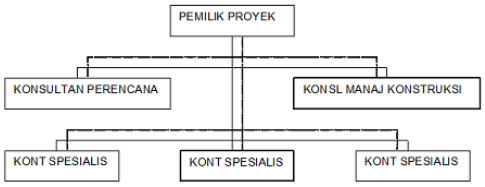
3. PENCEGAHAN SERANGAN SAAT PRA DAN PASCA KONSTRUKSI

Sebagaimana telah disebutkan di atas pada saat ini telah ada standar bagi pencegahan serangan rayap dalam bangunan dengan SNI-03-2405-1991 dan SNI-03-2404-1991. Dengan telah adanya standar ini, di satu pihak menunjukkan bahwa upaya pencegahan serangan rayap telah semakin maju, di pihak lain menjelaskan bahwa kegiatan

pengendalian rayap telah memperoleh dukungan dari berbagai disiplin ilmu.

Oleh sebab itu, secara teknologi bangunan, pencegahan serangan rayap sudah dapat dimulai sejak akan dibangunnya suatu gedung (pra konstruksi), meskipun obsesi ini merupakan kegiatan yang masih jarang terjadi, karena memerlukan kerjasama dengan berapa ahli dari beberapa disiplin ilmu, namun telah dicoba dan kemungkinan berhasil baik. Selama ini pencegahan serangan rayap sebelum pembangunan gedung lebih banyak dalam bentuk pengawetan bahan bangunan, terutama kayu.

Secara kelembagaan (institusional), pencegahan serangan rayap pra kontruksi juga dapat dimasukkan ke dalam struktur organisasi pembangunan maupun siklus hidup proyek yang memanfaatkan jasa konsultan Manajemen Konstruksi seperti yang terlihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Bentuk organisasi proyek dengan sistem Manajemen Konstruksi.

Karena proyek dengan sistem/tipologi Manajemen Konstruksi memanfaatkan jasa konsultan Manajemen Konstruksi sejak dari Pengembangan Konsep/Perencanaan sampai dengan awal Operasi Perawatan bangunan, maka konsep pencegahan serangan rayap yang bersifat sistematis, terorganisasi dan lebih mengedepankan usaha prefentip, sudah dapat disusun dan dimasukkan ke dalam rancangan bangunan gedung tersebut. Bila pelaksanaan pencegahannya dilaksanakan saat pra konstruksi, maka pengendaliannya dapat dilakukan oleh kontraktor spesialis namun tetap berada pada kendali maupun koordinasi pemilik dan konsultan Manajemen Konstruksi. Perhitungan biaya bagi kegiatan ini dapat dilihat pada Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara No 295/KPTS/CK/1997, yang diperbaharui menjadi No 332/KPTS/M/2002.

Apalagi bila di dalam pelaksanaan pembangunan proyek tersebut juga mensyaratkan dikerjakan oleh kontraktor utama/kontraktor spesialis yang telah mempunyai sertifikat ISO 9002, maka proses pelaksanaan pencegahan serangan rayap dapat mengikuti *system elements* nya, selanjutnya pengawasan mutu pekerjaan semakin tajam dan sistematis. Pengalaman selama ini di ITS maupun di tempat lain telah menunjukkan bahwa kegiatan pencegahan serangan rayap yang dimulai dari saat perancangan bangunan telah menghasilkan penghematan biaya *pre-construction treatment*, karena pekerjaan struktur dimanfaatkan juga sebagai 'tirai' penghambat serangan rayap, sehingga menambah tingkat kepastian prestasi *PCO* yang bekerja di tahap pra konstruksi, serta meningkatkan kualitas pelaksanaan struktur dan arsitektur bangunan tersebut.

Dalam hal usaha pencegahan serangan rayap saat pra konstruksi terpaksa harus diikuti dengan usaha pengendalian serangan rayap pasca konstruksi, maka usaha yang berorientasi pada kegiatan yang sistematis dan melembaga tetap dijadikan pegangan. Dari pengalaman selama ini, diperoleh fakta bila kegiatan pengendalian dapat dilaksanakan dengan orientasi di atas, maka bisa dihindarkan kesulitan dalam menentukan jenis pekerjaan pengendalian, volume pekerjaan, metode pelaksanaan dan spesifikasi kualitas kegiatan *post construction treatment* yang harus dipenuhi. Kesulitan di atas patut dihindarkan agar pelaksanaan program pengendalian rayap memenuhi kriteria akuntabilitas yang baik.

Sebaliknya jika tidak ada kejelasan pada program maupun prosedur pengendalian yang dapat dipertanggung jawabkan, maka pelaksanaan kegiatan pengendalian rayap akan lebih mengutamakan kesepakatan negosiasi harga satuan pekerjaan antara Pengguna Jasa dengan Pemberi Jasa serendah mungkin atau sehemat mungkin, sehingga kualitas/effektifitas di dalam memberikan pelayanan dan jaminan pada Pengguna Jasa tidak tercukupi.

Pengendalian rayap pasca konstruksi yang dilaksanakan secara sistematis dan melembaga juga akan dapat memberi nilai tambah bagi hasil karya perencanaan gedung

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

tersebut, karena di dalam program Operasi dan Pemeliharaan gedung tersebut juga akan dilakukan kegiatan evaluasi, koordinasi dan pengendalian sedemikian rupa sehingga umur pelayanan dan kinerja gedung atau kenyamanan penghuni gedung bertambah lama.

Semakin baik lagi jika di dalam program pengendalian rayap tersebut juga dimasukkan kriteria perlindungan terhadap lingkungan hidup dan bila sekiranya harus melakukan eliminasi terhadap kehidupan koloni rayap di sekitar kita sebaiknya hanya dilaksanakan oleh *PCO* yang telah mempunyai otorisasi (*authorized PCO*) bagi pekerjaan tersebut yang saat ini mulai banyak ditunjuk oleh pemegang merk.

Satu catatan perlu diingat, bahwa kalau sampai menjumpai adanya serangan rayap di lingkungan kita, jangan panik dan emosional, karena serangan rayap tidak akan menghabiskan mangsanya atau meruntuhkan sasarannya dalam waktu semalam. Bersikaplah tenang, hubungi pihak-pihak yang ahli dan berkompeten dalam pelaksanaan pengendalian rayap, agar diperoleh hasil yang bermutu baik.

Gambar 2. Pekerjaan persiapan pencegahan rayap pra konstruksi

Gambar 3. Ketelodoran pengawasan yang dapat menimbulkan serangan rayap

Gambar 4. Kesalahan pelaksanaan yang memberi peluang pada rayap

Gambar 5. Salah satu petujuk serangan rayap pada bangunan

4. KESIMPULAN & SARAN

4.1. Kesimpulan

Pengalaman menunjukkan pembasmian rayap selama ini yang dilaksanakan secara *sporadic represive* mulai diketahui kekurangannya jika dibandingkan dengan cara pengendalian *systemic institusional* yang mengintegrasikan pengendalian rayap ke dalam siklus hidup proyek (*project life cycle*). Sehingga proyek yang dilaksanakan dengan tipologi Manajemen Konstruksi akan lebih berpeluang untuk merealisasikan. Pada proses tersebut sekaligus dapat dilaksanakan upaya pelestarian lingkungan.

4.2. Saran

Pelaksanaan 'pembasmian' rayap, terutama yang menggunakan bahan kimia secara pasti sebaiknya diganti dengan 'pengendalian' rayap yang lebih rasional.

5. DAFTAR ACUAN

Draft, 2005, *Materi Teknis Pedoman Pembangunan Bangunan Gedung (building code) di wilayah Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam*.

Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia No 441/KPTS/1998, tentang *Persyaratan Teknis Bangunan Gedung*.

Keputusan Direktur Jenderal Cipta Karya, No 295/KPTS/1997, tentang *Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara*.

Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah, No 332/KPTS/M/2002, tentang *Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara.*

Kumpulan Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang *Perlindungan Bangunan Terhadap Serangan Organisme Perusak*.

Nandika D, 2003, *RAYAP biologi dan pengendaliannya.* Surakarta. Muhammadiyah University Press

Undang-undang Republik Indonesia No 28 tahun 2002.

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Identifikasi Kekuatan Batu Kumbung (Batu Putih) Sebagai Salah Satu Alternatif Bahan Bangunan

Moh Muntaha
Dosen D3 Teknik Sipil FTSP-ITS
email: mohamad_m74@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan rumah sebagai tempat tinggal menyebabkan semakin bertambahnya jumlah pemakaian bahan bangunan. Hal ini mengakibatkan semakin bervariasinya bahan bangunan yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut, seperti batako, paving stone, batu pecah, batu bata, dan batu kumbung (batu putih). Disamping itu, pemakaian bahan bangunan di suatu daerah umumnya dipengaruhi oleh kondisi daerah tersebut. Misalnya di daerah Bangkalan, Gresik, Tuban, Bojonegoro dan Lamongan karena daerah ini banyak terdapat gunung kapur, maka batu gunung ini yang disebut batu kumbung banyak dipakai sebagai bahan bangunan. Metode penelitian dalam studi ini adalah studi teoritis mengenai identifikasi parameter dasar dan kekuatan batuan berdasarkan ketentuan yang ada di Standar Nasional Indonesia (SNI) meliputi berat jenis, kadar air, porositas dan kuat tekan uniaksial batuan. Sedangkan benda uji berupa batu kumbung (batu putih) diambil dari 2 daerah yang mewakili yaitu daerah Bangkalan dan Lamongan. Dari hasil studi menunjukkan, batu kumbung Lamongan dan Bangkalan mempunyai parameter dasar (berat jenis, kadar air, porositas) yang hampir sama yaitu berat jenis berkisar antara 1.8 gr/cm^3, kadar air 0,24 % dan porositas 0,4. Sedangkan kuat tekan uniaksial batu kumbung (batu putih) Lamongan rata-rata 32.5 kg/cm^2, untuk batu kumbung (batu putih) Bangkalan adalah rata-rata 22.5 kg/cm^2. Mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan kuat tekan uniaksial batu bata yaitu 11.2 kg/cm^2 , dan kuat tekan uniaksial batako yaitu 21.2 kg/cm^2. akan tetapi lebih rendah dibandingkan kuat tekan batu pecah (batu belah)

Kata kunci: *Batu Kumbung, berat jenis, Kuat Tekan*

1. PENDAHULUAN

Pemakaian bahan bangunan di suatu daerah umumnya dipengaruhi oleh kondisi daerah tersebut. Daerah Bangkalan, Tuban, dan Lamongan merupakan daerah yang banyak terdapat pegunungan kapur, maka di daerah ini batu dari gunung-gungung ini yang disebut batu kumbung (batu putih) banyak digunakan sebagai bahan bangunan. Di samping di kedua daerah tersebut batu kumbung banyak terdapat di Kabupaten Tuban, Kabupaten Gresik, Kabupaten Pamekasan dan Kabupaten Bangkalan. Didaerah ini batu kumbung banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan yaitu sebagai dinding pengganti batu bata dan sebagai pondasi rumah. Gambar 1 di bawah menunjukkan pemakaian batu kumbung sebagai bahan dinding pengganti batu bata.

Batu kumbung ini dipilih untuk diteliti karena sudah banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan di daerah-daerah tersebut, namun belum banyak diketahui atau diteliti kualitasnya baik parameter-parameter dasarnya maupun kekuatannya.

Gambar 1. Batu kumbung untuk Dinding

Gambar 2. Batu Kumbung untuk Pondasi

Pada penelitian ini akan diteliti bagaimana parameter dasar, kekuatan batuan berdasarkan ketentuan yang ada di Standar Nasional Indonesia (SNI) meliputi berat jenis, kadar air, porositas dan kuat tekan uniaksial batuan serta simulasi penggunaan batu kumbung (batu putih) sebagai pondasi dan dinding pada rumah jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bangunan yang lain yaitu batu pecah, batu bata, batako.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian ini yang didefinisikan sebagai bahan bangunan adalah bahan bangunan yang umum dipakai sebagai dinding atau pondasi rumah sederhana. Ada 2 (dua) jenis bahan bangunan yaitu bahan bangunan yang didapat langsung dari alam seperti : batu pecah, kerikil, pasir, batu kumbung, dan bahan bangunan yang dibuat oleh manusia seperti : batu bata, batako, genting, batu beton, dan lain sebagainya. Pada pemakaian yang umum, baik bahan bangunan yang di dapat langsung dari alam maupun bahan bangunan buatan, akan direkatkan satu sama lain dengan perekat (spesi). Perekat tersebut bervariasi tergantung pada kegunaannya. Sebagai contoh : perekat untuk pondasi batu pecah adalah campuran semen, pasir dan kapur, perekat untuk dinding bagian bawah yang fungsinya untuk mencegah peresapan air tanah ke dinding adalah campuran semen dan pasir. Komposisi berat bahan perekat juga bervariasi, misalnya : 1 bagian semen, 2 bagian pasir dan 3 bagian kapur, atau 1 bagian semen dan 2 bagian pasir (hanya untuk pondasi dan dinding).

2.1 Klasifikasi Batuan

Batuan beku berasal dari magma yang berada di pusat bumi dan kemudian keluar ke arah permukaan bumi. Karena adanya pergerakan bumi, sebagian batuan yang berada di bawah akan berpindah ke permukaan bumi.

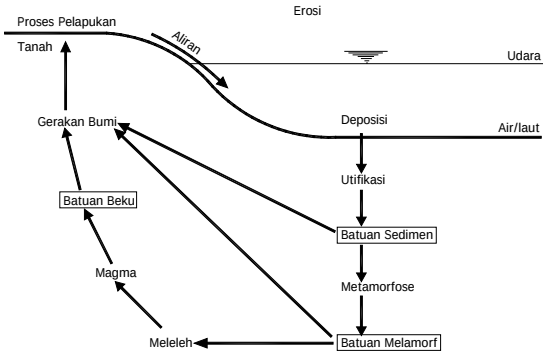
Karena pengaruh cuaca, batuan beku akan melapuk dan kemudian karena aliran angin dan air akan tersedimentasi dan menjadi batuan sedimen. Batuan sedimen bisa berubah sifat-sifat mineralnya karena tekanan dan panas bumi sehingga menjadi batuan metamorf.

Batu putih pada dasarnya adalah batuan sedimen dari batu kapur. Kandungan mineral batuan sedimen kapur adalah sekitar 95 % Calcite, 3 % Dolomite dan 2 % Mineral lempung. Tegangan runtuh batuan sedimen kapur bervariasi dari 20 – 100 Mpa, dan kekuatan menahan beban berkisar antara 0,5 – 4 Mpa.

Batu pecah pada dasarnya adalah batuan beku. Kandungan mineral batuan beku adalah sekitar 25 % Quartz, 50 % Feldspar, 15 % Mica dan 10 % Mafics.

Tegangan runtuh berkisar 200 Mpa sedangkan kekuatan menahan beban berkisar 10 Mpa.

Proses geologi untuk pembentukan batuan bisa digambarkan pada Gambar 3 di bawah ini



Gambar 3. Proses Geologi Pembentukan batuan

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

2.2.Kekuatan Bahan Bangunan

Kekuatan bahan bangunan bervariasi tergantung kepada bahan dan mineral pembentuknya. Bahan Bangunan ada yang bersifat bentukan alam proses kimiawi tambahan seperti batu pecah, batu putih dan sebagainya, dan ada yang bersifat bentukan alam dengan proses pembakaran seperti genting, bata merah dan lain-lain. Selain itu bahan bangunan ada yang bersifat bahan tambang dengan proses kimiawi seperti aluminium, besi dan lain-lain. Pada penelitian ini yang diulas hanya bahan bangunan yang bersifat alam saja. Bahan bangunan yang diteliti dianggap tidak mempunyai kekuatan menahan lentur yang sangat kecil. Sebelum dilakukan pengujian kekuatan, batuan diperiksa parameter dasarnya. Pengujian parameter dasar yang umum dilakukan adalah pengujian : berat jenis, kepadatan dan penyerapan air (SNI 03-2437 – 1991).

Pengujian kekuatan batuan yang paling umum dilakukan adalah pengujian kuat tekan iniaksial batuan (SNI 03-2825 – 1992). Pengujian lain yang perlu dilakukan adalah : Pengujian geser langsung batu (SNI 03-2824-1992), Pengujian modulus elastisitas batu pada tekanan sumbu tunggal (SNI 03-2826-1992), Pengujian laboratorium kuat tarik dengan cara tidak langsung (SNI 03-2486-1991) dan pengujian kuat lentur batu pemakai gelagar sederhana dengan sistem beban titik di tengah (SNI 03-2823 – 1992).

2.3.Gambaran Umum Batu Kumbung

Obyek studi penelitian ini adalah batu kumbung (batu putih) dari Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Bangkalan. Batu kumbung diambil dari pusat penambangan di mana batuan dasarnya adalah batuan gamping. Pusat penambangan di Kabupaten Lamongan terletak di sebelah barat di dekat perbatasan Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Bojonegoro. Sedangkan pusat penambangan di Kabupaten Bangkalan terletak di sebelah selatan di dekat kaki jembatan Suramadu. Batu kumbung yang digunakan sebagai dinding pada umumnya mempunyai ukuran ± 20 x 10 x 8 cm3, sedangkan yang digunakan sebagai pondasi rumah pada umumnya mempunyai ukuran ± 30 x 30 x 30 cm3.

3. METODOLOGI

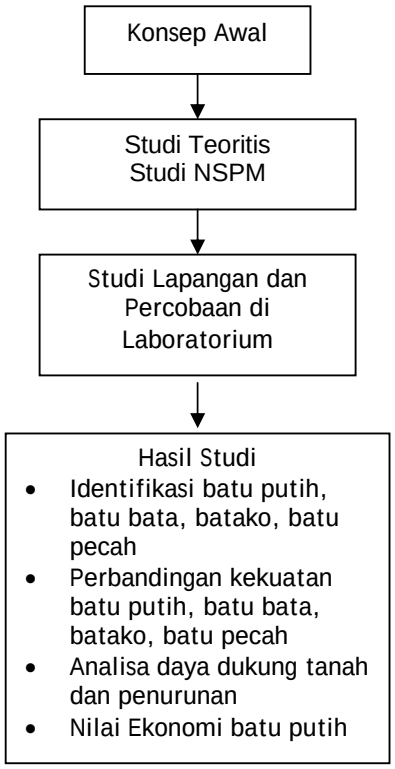
Studi teoritis mengenai identifikasi parameter dasar dan kekuatan batuan dipelajari dari ketentuan yang ada di Standar Nasional Indonesia. Studi lapangan dilakukan di lokasi penambangan batu kumbung di Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Bangkalan. Batu kumbung yang akan diteliti didapatkan dari Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Bangkalan, sedangkan batu bata, batako dan batu pecah dibeli dari Surabaya.

Pengujian laboratorium dikerjakan di laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil ITS.

Pengujian laboratorium untuk menentukan parameter dasar dan kekuatan menahan beban yang akan dilakukan adalah :

- Identifikasi batuan : berat jenis, kadar air, porositas
- Identifikasi kekuatan: kuat tekan uniaksial batuan

Alur pikir Penelitian disimpulkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Metode Penelitian

4. HASIL PENILITIAN

4.1. Pengujian Parameter Dasar Batuan.

Pengujian parameter dasar batuan adalah pengujian kepadatan natural, kadar air natural, derajat kejenuhan, porositas dan kadar pori. Pengujian dilakukan menurut SNI 03-2437-1991.

Hasil pengujian menunjukkan Batu kumbung Lamongan dan Bangkalan mempunyai parameter dasar (kepadatan, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan kadar pori) yang hampir sama yaitu kepadatan natural berkisar antara 1.78 gr/cm^3, lebih tinggi dari batu bata merah 1.58 gr/cm^3 akan tetapi lebih rendah dibandungkan batu pecah (batu vulkanik) 1.96 gr/cm^3.

Kadar air natural berkisar antara 0.24 %, hampir sama dengan batu bata merah dan batako tetapi lebuh tinggi dibandingkan batu pecah 0.19 %.

Derajat kejenuhan berkisar antara 1.2 %, hampir sama dengan batu bata merah, batako dan batu pecah.

Kadar pori berkisar antara 0.5 lebih rendah dibandingkan batu bata merah dan batako, tetapi lebih tinggi dibandingkan batu pecah. Selengkapnya hasil uji parameter dasar batuan dapat dilihat pada tabel 1.

4.2. Pengujian Kekuatan Batuan

Batu kumbung dari Lamongan dan Bangkalan serta bahan-bahan yang lain seperti batu bata merah, batako, batu pecah (batu vulknik) diuji kekutan. Pengujian kekuatan batuan-batuan tersebut meliputi :

- Pengujian kuat tekan uniaksial batu (SNI M-10-1991-03)
- Pengujian kuat tarik benda uji batu dengan cara tidak langsung (SNI 03-2486-1991)
- Pengujian geser langsung batu (SNI M-09-1991-03)
- Pengujian indek kekuatan batu dengan beban titik (SNI M-109-1990-03)

Hasil-hasil pengujian kekuatan batu kumbung dan bahan bangunan yang lain yang di uji di laboratorium dapat dilihat pada tabel rekapitulasi pengujian kekuatan batuan yaitu pada tabel 2 dan tabel 3 Kekuatan yang dianggap mewakili. Dari tabel 3 terlihat kuat tekan uniaksial batu kumbung (batu putih) Lamongan rata-rata 32.5 kg/cm^2, untuk batu kumbung (batu putih) Bangkalan adalah rata-rata 22.5 kg/cm^2. Mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan kuat tekan uniaksial batu bata yaitu 11.2 kg/cm^2 , dan kuat tekan uniaksial batako yaitu 21.2 kg/cm^2.

Tabel 1. Hasil Uji Parameter dasar batuan

JENIS BATUAN	Berat Jenuh Dalam Air	Kepadatan Natural (gr/cm3)	Kepadatan kering (gr/cm3)	Kepadatan jenuh (gr/cm3)	Berat Jenis Semu (gr/cm3)	Berat Jenis Sebenarnya (gr/cm3)	Kadar Air Natural (%)	Kadar Air Jenuh	Derajat Kejenuhan (%)	Porositas	Kadar Pori
Batu Kumbung Lamongan											
1	103.100	1.774	1.770	1.104	1.770	2.658	0.240	18.87	1.28	0.428	0.749
2	110.000	1.809	1.808	1.099	1.808	2.549	0.060	16.08	0.34	0.100	0.111
3	101.300	1.765	1.761	1.073	1.761	2.561	0.240	17.75	1.36	0.424	0.735
Average	104.800	1.783	1.780	1.092	1.780	2.589	0.180	17.57	0.99	0.317	0.532
Batu Kumbung Bangkalan											
1	44.600	1.695	1.691	1.010	1.691	2.483	0.240	18.87	1.28	0.409	0.692
2	45.100	1.556	1.553	1.836	1.553	2.166	0.200	18.24	1.10	0.311	0.452
3	41.900	1.734	1.730	1.037	1.730	2.497	0.240	17.75	1.36	0.416	0.713
Average	43.900	1.662	1.658	1.961	1.658	2.382	0.230	18.29	1.25	0.379	0.619
Batu Bata Merah											
1	72.700	1.562	1.560	1.853	1.560	2.206	0.150	18.77	0.80	0.234	0.306
2	52.800	1.615	1.610	1.914	1.610	2.313	0.300	18.86	1.60	0.485	0.940
3	58.000	1.562	1.559	1.853	1.559	2.208	0.240	18.87	1.28	0.377	0.606
Average	61.200	1.580	1.576	1.873	1.576	2.242	0.230	18.83	1.23	0.365	0.617
Batu Vulkanik											
1	77.000	1.950	1.946	1.262	1.946	2.846	0.200	16.25	1.23	0.390	0.639
2	90.378	1.989	1.986	1.308	1.986	2.928	0.170	16.20	1.05	0.338	0.511
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average	84.100	1.970	1.966	1.285	1.966	2.887	0.190	16.22	1.14	0.364	0.575
Batako											
1	53.530	1.789	1.784	1.102	1.784	2.615	0.250	17.79	1.41	0.447	0.809
2	73.970	1.812	1.806	1.120	1.806	2.630	0.290	17.34	1.68	0.525	1.107
3	52.900	1.805	1.801	1.116	1.801	2.628	0.250	17.49	1.43	0.451	0.822
Average	60.100	1.802	1.797	1.112	1.797	2.624	0.260	17.54	1.51	0.475	0.913

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Batu

JENIS BATUAN	KUAT TEKAN UNIAKSIAL BATU			KUAT TARIK BENDA UJI BATU		KUAT GESER		INDEK KEKUATAN BATU DENGAN BEBAN TITIK		
	Tegangan Deviator Puncak (kg)	Modulus Elastisitas (Kg)	Regangan (cm)	Beban Maksimum (kg)	Tegangan Tarik Maksimum	Beban Maksimum (kg)	Tegangan Geser Maksimum	Beban Maksimum (kg)	Indek Kekuatan Beban	Kekuatan Tekan (Kg)
Batu Kumbung Lamongan										
Test ke - 1	41.300	2,609.890	1.600	192.200	4.320	150.700	4.200	71.600	2.980	67.450
Test ke - 2	40.240	2,034.170	1.800	214.800	4.830	241.200	6.390	113.050	4.910	110.100
Test ke - 3	18.760	1,594.700	1.200	98.000	2.200	542.600	14.390	52.940	2.200	49.870
Test ke - 4	7.900	671.450	1.200	226.100	3.880	640.600	17.700	94.890	4.120	92.420
Test ke - 5	28.430	1,794.860	1.800	282.600	4.530	602.900	16.250	164.800	7.150	160.510
Batu Kumbung Bangkalan										
Test ke - 1	19.490	311.760	5.800	499.400	6.870	209.000	5.540	29.960	1.250	28.230
Test ke - 2	25.160	335.510	7.100	559.300	7.570	169.000	4.480	74.910	3.120	70.570
Test ke - 3	21.070	309.870	6.600	209.700	2.810	75.000	1.990	14.980	0.620	14.110
Test ke - 4	27.290	284.730	8.300	279.700	3.910	175.000	4.640	48.940	2.040	46.110
Test ke - 5	15.280	287.980	4.900	224.700	2.920	200.000	5.300	15.980	0.670	15.060
Batu Bata Merah										
Test ke - 1	1.340	344.580	0.400	159.800	1.980	159.800	4.070	49.940	2.000	45.550
Test ke - 2	10.490	262.310	3.800	154.800	1.770	209.700	5.130	24.970	1.000	22.770
Test ke - 3	11.200	310.890	4.100	179.800	2.290	154.800	4.100	69.920	2.800	63.760
Test ke - 4	11.370	187.640	6.300	168.800	2.130	154.800	4.100	65.920	2.640	60.120
Test ke - 5	12.780	268.860	5.300	174.800	2.230	189.800	5.470	44.950	1.830	41.660
Batu Vulkanik										
Test ke - 1	167.950	4,261.500	2.700	1,320.000	28.910	1,200.000	21.220	750.000	22.290	540.430
Test ke - 2	183.610	5,246.120	3.200	1,330.000	21.220	1,350.000	24.690	710.000	21.850	525.780
Batako										
Test ke - 1	24.380	883.810	2.800	41.500	0.530	177.100	4.600	111.870	4.390	100.410
Test ke - 2	2.530	642.120	0.600	207.300	2.650	614.200	15.960	40.950	1.670	37.960
Test ke - 3	28.080	1,411.030	1.800	335.400	4.210	71.600	1.860	63.920	2.560	58.300
Test ke - 4	13.700	869.330	1.600	286.400	3.630	143.200	3.650	71.910	2.820	64.550

Tabel 3 Kekuatan Batuan Yang Dianggap Mewakili

Jenis Batuan	Kuat Tekan Uniaksial Batu			Kuat Tarik Benda Uji Batu Dengan Cara Tidak Langsung		Kuat Geser Batuan		Indeks Kekuatan batu Dengan Beban Titik		
	Tegangan Deviator Puncak (kg)	Modulus Elastisitas (kg)	Regangan (%)	Beban Maks (kg)	Tegangan Tarik Maks (kg)	Beban Maks (kg)	Tegangan Geser Maks (kg)	Beban Maks (kg)	Indeks Tegangan Beban Titik (kg)	Tegangan Tekan (kg)
Batu Putih Lamongan	32.5	2000	1.60	220	4.80	500	10.25	70	2.2	70
Batu Putih Bangkalan	22.5	310	6.50	270	3.50	180	5.00	30	2.00	30
Batu Bata Merah	11.2	310	4.10	180	2.20	150	4.00	65	2.50	50
Batu Vulkanik	170.3	5000	3.0	1300	21.00	1300	22.00	720	22	530
Batako	21.2	1000	2.0	200	2.60	170	4.50	70	3.5	80

Akan tetapi lebih rendah dibandingkan dengan batu pecah (batu vilkanik) 170.3 kg/cm^2. Untuk kuat tarik batu kumbung Lamongan rata-rata 4.8 kg/cm^2, untuk batu kumbung Bangkalan adalah rata-rata 3.5 kg/cm^2. Mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan batu bata merah dan batako.

Sedangkan kuat geser batu kumbung Lamongan rata-rata 10.25 kg/cm^2, untuk batu kumbung Bangkalan adalah rata-rata 5.00 kg/cm^2. Mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan batu bata merah 4.00 kg/cm^2 dan batako 4.50 kg/cm^2. akan tetapi lebuh rendah dibandingkan batu pecah 22.00 kg/cm^2.

5. KESIMPULAN

1. Batu putih Lamongan dan Bangkalan mempunyai parameter dasar (kepadatan, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan kadar pori) yang hampir sama, yaitu:
   - Kepadatan natural berkisar antara 1.8 gr/cm^3.
   - Kadar air natural berkisar antara 0.24 %.
   - Derajat kejenuhan berkisar antara 1.2 %.
   - Porositas berkisar antara 0.4
   - Kadar pori berkisar antara 0.6
2. Batu putih Lamongan mempunyai parameter kekuatan tekan dan geser yang jauh lebih tinggi dari pada batu putih Bangkalan. Kuat tekan dan geser yang jauh lebih tinggi dari pada batu putih Bangkalan. Kuat tekan uniaksial batu putih Lamongan berkisar antara 32.5 kg/cm2, sedangkan batu Putih Bangkalan berkisar antara 22.5 kg/cm2. Tegangan geser batu putig Lamongan berkisar antara 10,25 kg/cm2 sedangkan batu putih Bangkalan berkisar antara 5.00 kg/cm2.

3. Tegangan tarik batu putih Lamongan adalah sekitar 4.80 kg/cm2, sedangkan batu putih Bangkalan sekitar 3.50 kg/cm2.

4. Batu pecah mempunyai kuat tekan uniaksial sekitar 170.3 kg/cm2, tegangan tarik sekitar 21.00 kg/cm2 dan kuat geser sekitar 22.00 kg/cm2. Berarti batu pecah mempunyai parameter kekuatan batuan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan jenis batuan yang lain.

6. DAFTAR ACUAN

Acuan yang dipakai untuk penulisan artikel ini antara lain:

Das, B.M, 1990, "Principles of Foundation Engineering", Second Edition, PWS Kent Publishing Company, Boston.

Das, B.M., 1994, **"Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik"**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Soewarno.1980. *Mekanika Teknik, Jilidl,II,III*. Gajah Mada Press.

Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983, Departemen Pekerjaan Umum, Ditjen Cipta Karya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.

Vesis, 1975, **"Bearing Capacity of Shallow Foundations"**, Foundation Engineering Handbook, 1st Edition, New York.

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Pengaruh Operasi Bangunan Pengatur Kali Surabaya, Wonokromo, Kalimas terhadap Banjir Kota Surabaya, dan Penyelesaiannya

Sismanto
Dosen D3 Teknik Sipil FTSP-ITS
email: sismantosis@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Kali Surabaya merupakan anak sungai Kali Brantas yang berasal dari Kali Marmoyo. Pintu Air Mlirip yang selanjutnya mengalir menuju menuju kota Surabaya melalui bendung Gunungsari. Di Kota Surabaya, kali Surabaya bercabang menjadi 2 yaitu kali Wonokromo dan Kalimas dengan bangunan pengatur Bendung Jagir, sedangkan di Kalimas terdapat Dam Gubeng yang dulunya berfungsi untuk menaikkan muka air disaat musim kemarau. Disisi lain Kota Surabaya yang selalu banjir disaat terjadi hujan menimbulkan suatu suatu pendapat bahwa banjir banjir tersebut sebagian diakibatkan oleh Sistem Operasi Bangunan pengendali yang ada di sungai sungai tersebut. Kajian ini dimaksudkan untuk membuktikan pendapat tersebut dan bagaimana solusinya jika pendapat tersebut ternyata benar. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisa Model dan dengan menggunakan bantuan program HEC-RAS. Dianalisa dengan berbagai kondisi kondisi debit dan metode operasi bangunan bangunan pengendali yang ada di kali Surabaya, kali Wonokromo, dan Kalimas.Hasil dari Penelitian ini menunjukkan bahwa metode operasi Bangunan bangunan pengendali tidak banyak berpengaruh terhadap banjir kota Surabaya selama debit yang melewati kali kali tersebut tidak lebih dari 60% dari dengan Debit rencana 25 tahunan. Upaya yang harus dilakukan untuk menanggulangi banjir di Kota Surabaya terutama untuk daerah pematusan Kalibokor dan medokan Semampir harus dengan menormalisasi saluran sekunder. Kali Surabaya dan Wonokromo juga harus dilakukan normalisasi untuk mengantisipati debit Q25 tahunan pada beberapa dibagian hilir, sedangkan untuk Kalimas harus dilakukan pengerukan secara berkala untuk ruas antara pintu Jagir hingga bendung karet Gubeng.

Kata kunci: *Operasi, Bangunan Pengatur, Banjir*

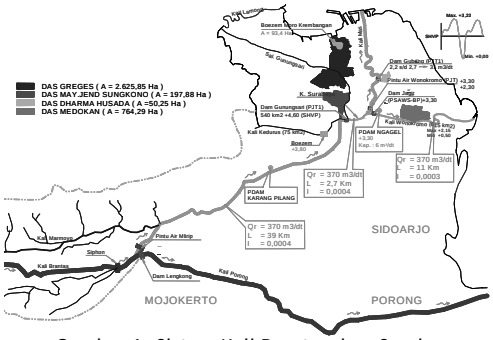
1. PENDAHULUAN

Kali Surabaya merupakan anak sungai Kali Brantas yang berasal dari Kali Marmoyo, Pintu Air Mlirip yang berada di daerah Mojokerto menghubungkan Kali Surabaya dengan aliran dari Kali Brantas. Di Surabaya, kali Surabaya bercabang menjadi 2 yaitu kali Wonokromo dan Kalimas dengan bangunan pengatur Bendung Jagir (gambar 1).

Dengan meningkatnya aliran yang masuk ke kali Surabaya maka pengaturan air di Bendung Jagir akan menjadi sulit dilaksanakan, jika air dialirkan sepenuhnya menuju kali Wonokromo maka dipastikan akan terjadi luapan luapan di sepanjang sungai terutama jika bersamaan dengan terpadinya pasang, tetapi jika dialirkan lebih banyak menuju Kalimas maka dapat dipastikan akan terjadi luapan / genangan di beberapa kawasan di kota Surabaya.

Berkaitan dengan masalah masalah tersebut diatas, perlu dikaji sistem operasi semua bangunan pengatur agar banjir dikota Surabaya ini dapat ditekan sekecil kecilnya, dan pada bagian mana perbaikan harus dilakukan.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh operasi bangunan bangunan pengatur di sistem Kali Surabaya berkaitan dengan berbagai kondisi / masalah yang ada saat ini. Kajian ini bertujuan untuk memberikan masukan kepada pemegang kebijakan dalam meningkatkan fungsi Sumber daya Air.



Gambar 1. Sistem Kali Brantas dan Surabaya

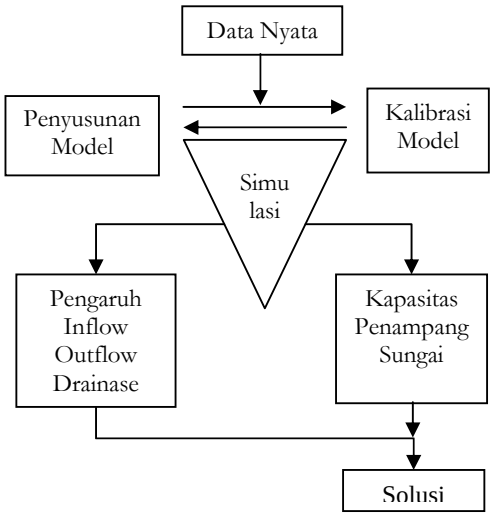
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan beberapa tahapan yaitu,

a. Kajian terhadap system Kali Surabaya dan Sistem drainase kota Surabaya berdasarkan laporan laporan yang ada.
b. Mengumpulkan data data yang terkait dengan system drainase tersebut yaitu, data hidrometri, data penampang, dan peta
c. Melakukan kajian system aliran pada setiap wilayah strudi
d. Penentuan batasan batasan untuk kajian / analisa
e. Analisa dengan model matrematis yang dalam hal ini menggunakan software aplikasi HEC-RAS.

Dalam hal analisa dengan model matematis dilakukan dengan beberapa tahapan yang dimulai dengan penyusunan model, kalibrasi model, dan simulasi model . Tahapan analisa pemodelan tersebut dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram alir Analisa model

3.2. Prosedur Pengujian dengan Model

Prosedur kajian dilakukan dengan langkah langkah berikut :

a. Input data geometri Sungai Utama dan Bangunan
b. Input data hidrologi dan batasan
c. Uji Program dan Kalibrasi
d. Evaluasi ulang input data
e. Running program Sungai Utama
f. Perhitungan dan analisa pengaruh terhadap aliran pada system Drainase Kota Surabaya
g. Simulasi operasi pintu bangunan pengatur dan bangunan lainnya
h. Simulasi Rancangan Dimensi rencana pengembangan.
i. Analisa dan Kesimpulan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Dasar Pemodelan

Permodelan hidraulik dipakai untuk menghitung profil permukaan air sungai dibagi menjadi 2 sistem, yaitu Sistem Brantas Hilir, dan sistem Surabaya Timur. Pada sistem Brantas Hilir, Sungai Kali Surabaya merupakan anak sungai Kali Brantas, memiliki luas daerah pengaliran 630,7 Km2, terdiri dari daerah pengaliran sungai Kali Marmoyo, Kali Watudakon, Kali Kedurus,dan anak anak sungai lainnya.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan oleh *Surabaya River improvement Project (SRIP)* tahun 1983 dan kemudian diadakan revisi pada tahun 2003, debit banjir rencana untuk Kali Surabaya dan Kali Wonokromo seperti pada tabel berikut.

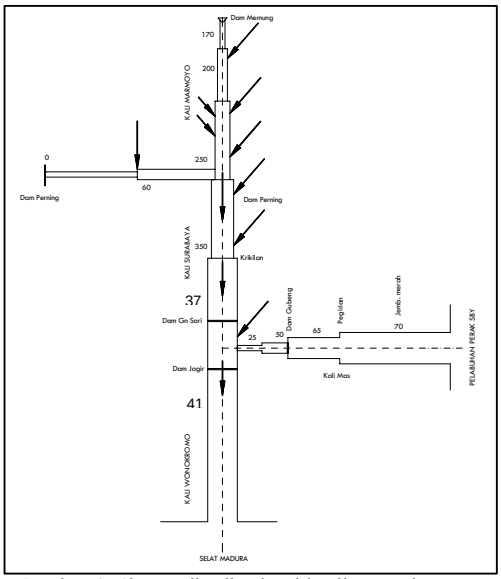
Tabel 1. Debit Banjir rencana Kali Surabaya dan Kali Wonokromo

Kala Ulang (Tahun)	Debit Banjir Rencana (m^3/det)		
	SRIP'83	Revisi 2003	
		Bd. Gunungsari	Dam Jagir
2	223	239	279
5	270	295	335
10	300	332	372
25	328	379	419
50	367	414	454
100	400	449	489

Sumber : PJT I, 2003

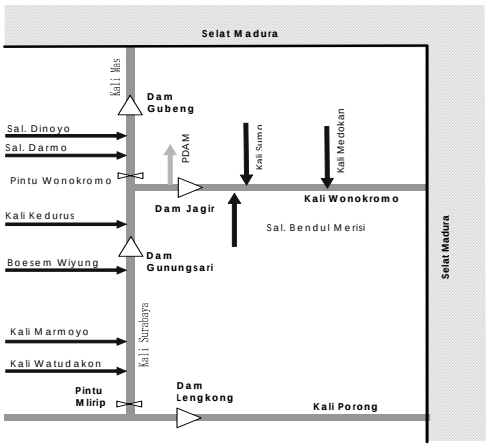
Distribusi Debit Banjir Rencana pada sistem sungai Kali Surabaya setelah dilakukan review dari data diatas, disajikan dalam gambar skema .

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X



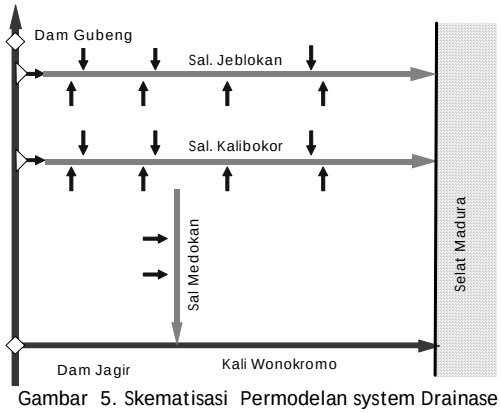
Gambar 3. Skema distribusi Debit aliran pada system Brantas Hilir

Skematisasi permodelan dalam sistem Brantas Hilir disajikan dalam gambar berikut:



Gambar 4. Skema Permodelan Matematik Sistem Brantas Hilir

Pada sistem Low level Timur, Sub-sistem ini dahulunya merupakan saluran irigasi. Kapasitas saluran primer saat ini bervariasi antara 0.16 m^3/dt sampai dengan 58.90 m^3/dt. Skematisasi permodelan sistem drainase Surabaya Timur adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Skematisasi Permodelan system Drainase Surabaya Timur

Ada beberapa bangunan pengendali banjir yang didaerah penelitian yang dioperasikan dengan cara menjaga muka air dibagian hulu, tabel 2 menunjukkan elevasi muka air hulu masing masing bangunan pada musim hujan, kemarau, dan banjir.

Tabel 2. Elevasi muka air operarasi bangunan

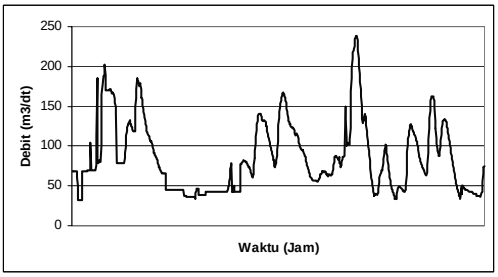
Sungai	kemarau	Hujan	Banjir
Dam Gubeng	+ 2.20	+ 2.10	+ 2.00
Pintu Air jagir	+ 3.20	+ 3.10	+ 2.80
Pintu Gnsari Br	+ 4.40	+ 4,20	+ 4.65
Pintu Wnkromo	+ 3.10	+ 3.45	+ 3.45

3.2. Set-up dan kalibrasi model

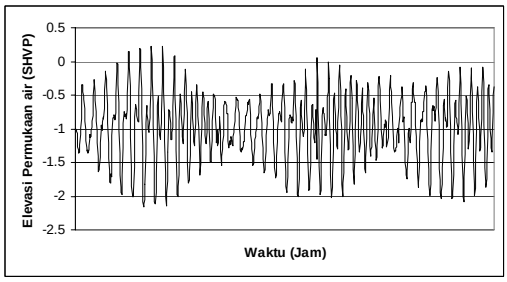
Bentuk geometri saluran atau sungai didasarkan pada data hasil pengukuran situasi, memanjang dan melintang sungai. Koefisien kekasaran, koefisien kontraksi dan koefisien ekspansi ditentukan dengan pendekatan lapangan dan diuji melalui pengujian.

Sebagai kondisi batas hulu dalam model ini adalah hidrograp aliran yang terukur di stasiun AWLR Perning (Gambar 6). Sedangkan kondisi batas hilir adalah *time series* pasang surut air laut diselat madura (Gambar 7).

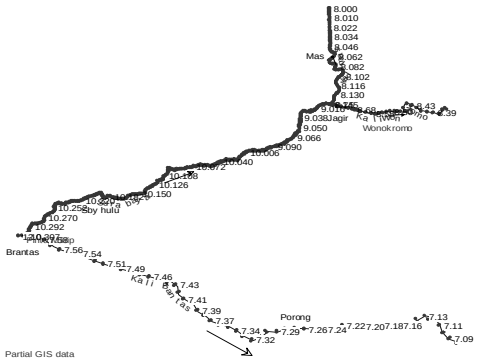
Skema jaringan model pada sistem drainase utama yang terdiri dari kali Porong, kali Surabaya, kali Wonokromo dan Kali Mas seperti pada Gambar 8.



Gambar 6. Hidrograp aliran di stasiun AWLR Perning



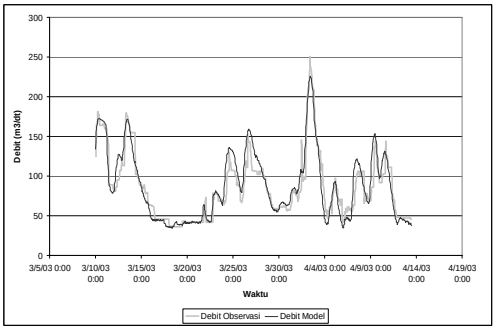
Gambar 7. Grafik pasang surut air laut di Selat madura



Gambar 8 Skema jaringan model drainase utama

Kalibrasi model didasarkan data pencatatan lapangan tanggal 6 maret 2003 jam 24:00 sampai dengan tanggal 13 April jam 11:00. Interval komputasi 1 menit, koefisien konstraksi 0.1, koefisien ekspansi 0.3 dan koefisien kekasaran Manning untuk main Channel sebesar 0.03 serta untuk Left Over Bank dan Right Over Bank sebesar 0.035. Model di simulasi dalam kondisi Unsteady Flow Analysis dan metode Average friction Slope untuk menghitung friction slope penampang melintang. Regim aliran menggunakan Mixed Flow (Gabungan Sub kritis dan Super kritis).

Hasil permodelan dilakukan kalibrasi dengan membandingkan debit aliran hasil permodelan dengan debit aliran yang terukur di Dam Gunungsari. Perbandingan kedua hidrograp debit aliran disajikan pada gambar 10. Akurasi dari model dapat dilihat dari besarnya perbedaan antara debit hasil permodelan dan debit hasil observasi yang dalam hal ini dihitung Root Mean Square Error sebesar 14.96 m3/dt.



Gambar 10. perbandingan debit Pengukuran

3.3. Simulasi Model

3.3.1. Simulasi Permodelan Sistem Brantas Hilir.

Pada Simulasi penampang eksisting, Pemodelan hidrolik untuk melihat pengaruhnya terhadap kondisi muka air yang terjadi. Ada 6 kondisi debit yang diperhitungkan antara lain :

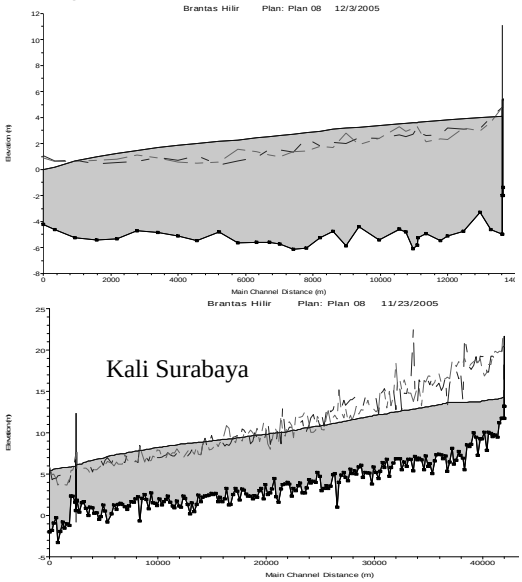
1. Simulasi dengan debit Q25 tahun
2. Simulasi Debit Wonokromo hasil revisi Q25 = 419 m3/dt
3. Simulasi debit 60% dari Q25
4. Simulasi Debit Q25 tahun dan Debit Marmoyo ditahan 200 m3/dt
5. Simulasi Debit Q25 tahun (Debit Marmoyo ditahan 200 m3/dt dan debit Kedurus 40 m3/dt)
6. Simulasi Debit Q25 tahun (Debit Marmoyo ditahan 200 m3/dt dan debit Kedurus 40 m3/dt dan pintu Mlirip ditutup total)
7. Simulasi dengan melakukan modifikasi penampang sungai (normalisasi)
8. Simulasi Dam Gubeng dikempiskan

Pada simulasi 1 Pintu Jagir dan pintu operasi Gunungsari dibuka penuh sedangkan pintu banjir Gunungsari dibuka setinggi 3.43 meter, Dam Gubeng mengembang penuh. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa elevasi muka air hulu dimasing masing bangunan ditunjukkan pada tabel 3, terlihat bahwa elevasi tersebut jauh lebih tinggi dari elevasi yang telah ditetapkan pada tabel 2.

Tabel 3. Elevasi muka air dihulu Dam hasil Simulasi 1.

Kondisi	Elv M.A dihulu Dam/pintu		
	Gn.sari	Jagir	Gubeng
Elevasi Hulu	+6.12	+5.38	+2.18
Elevasi Hilir	+5.91	+4.10	+1.34
Bukaan Pintu (m)	4.0 & 3.43	4.0	2.0

Elevasi permukaan air di setiap penampang Kali Wonokromo dan Kali Surabaya Hilir berada di atas tanggul, Elevasi permukaan air di setiap penampang Kali Wonokromo dan Kali Surabaya Hilir berada di atas tanggul , Elevasi permukaan tanggul di hulu dam Gunungsari sampai sejauh 22800 m (Gambar 11), dam Gunungsari berada di bawah elevasi permukaan air. Permukaan air dihulu Dam Gunungsari dan Dam Jagir tidak dapat dipertahankan pada elevasi yang diharapkan.

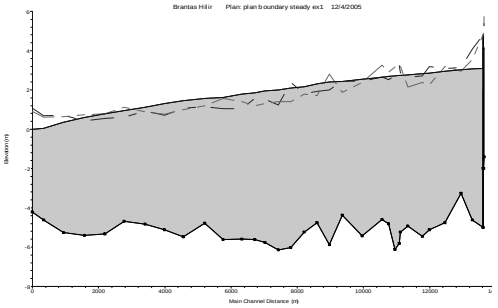


Gambar 11. Elevasi muka air kali Wonokromo dan Surabaya hasil simulasi 1

Pada Simulasi 2, kondisi muka air di hulu dam tidak jauh berbeda dengan simulasi 1 meskipun telah terjadi penurunan (Tabel 4). Kali Wonokromo masih dalam kondisi tenggelam (Gambar 12).

Tabel 4. Elevasi muka air dihulu Dam hasil Simulasi 2.

Kondisi	Elevasi M.A dihulu Dam/pintu		
	Gn.sari	Jagir	Gubeng
Elevasi Hulu	+ 5.11	+4.11	+2.11
Elevasi Hilir	+ 4.94	+3.11	+1.14
Bukaan Pintu (m)	3.22/2.57	4.0	2.0



Gambar 12. Elevasi muka air kali Wonokromo hasil simulasi 2

Pada Simulasi 3 dimana debit yang masuk sebesar 60% Q25 yang merupakan debit tahunan, kondisi muka air di hulu dam telah mengalami penurunan yang cukup besar walaupun masih diatas elevasi yang telah ditetapkan (tabel 5), dan kali Wonokromo masih tenggelam pada beberapa ruas.

Tabel 5. Elevasi muka air dihulu Dam hasil Simulasi 3.

Kondisi	Elv M.A dihulu Dam/pintu		
	Gn.sari	Jagir	Gubeng
Elevasi Hulu	+4.62	+3.39	+2.1
Elevasi Hilir	+4.53	+2.87	+1.14
Bukaan Pintu (m)	2.7/2.05	3.65	0.97

Berdasarkan analisa diatas terlihat bahwa tidak mungkin lagi kali Surabaya dan Wonokromo dipertahankan dengan kondisi yang ada saat ini walaupun dengan segala upaya pengoperasian pintu pengatur. Ada dua langkah yang perlu dilakukan yaitu memperbesar kapasitas kali atau mengurangi dedebit yang masuk.

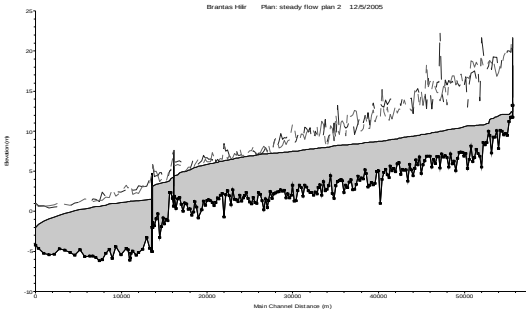
Simulasi 4,5,6 adalah upaya untuk mengurangi debit masuk yaitu menahan air kali Marmoyo dan Kedurus dengan membuat waduk pengendali banjir di masing masing DAS.

Pada Simulasi 5, Optimasi untuk mempertahankan elevasi permukaan air di hulu dam Gunungsari +4.60 dan di hulu Dam jagir +3.2 dapat dilakukan dengan mengatur tinggi bukaan pintu. Namun, akibat elevasi diperhankan pada elevasi tersebut aliran balik ke arah hulu menyebabkan elevasi permukaan air naik sampai kurang lebih 0.5 meter diatas tanggul. Simulasi dilakukan dengan mencoba merubah elevasi yang ditetapkan di hulu Dam jagir menjadi +2.8 dan di hulu Dam Gunungsari +3.8 dan program dicoba untuk melakukan optimasi

bukaan pintu diharapkan bahwa dengan menurunkan elevasi di hulu Dam maka elevasi permukaan air dipenampang yang meluap di hulu dan hilir Dam Gunungsari akan turun. Hasil simulasi model hanya dapat mempertahankan elevasi permukaan air dihulu dam Gunungsari +4.54 dan dihulu Dam Jagir +2.97 sehingga elevasi permukaan air di hulu Dam Gunungsari masih tetap lebih tinggi dari pada elevasi tanggul

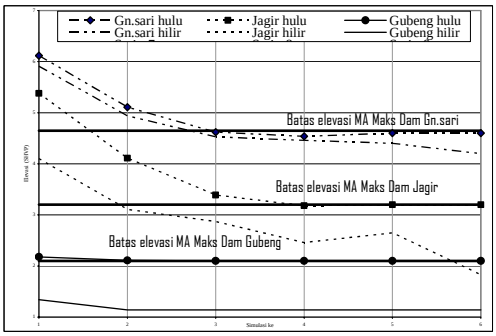
Pada simulasi 6, Elevasi permukaan air di hulu dan dihilir Dam Gunungsari lebih rendah dari elevasi tanggul. Namun beberapa penampang sungai di hilir Dam jagir (Kali Wonokromo) elevasi tanggulnya masih berada di bawah elevasi permukaan air.

Pada simulasi dicoba pasang surut air laut turun pada elevasi -1.0 elevasi di hilir Dam jagir turun menjadi +1.67 m, sehingga elevasi permukaan air di Kali Wonokromo juga turun sehingga elavasi permukaan air sudah berada dibawah elevasi tanggul di semua penampang. Pada saat air surut pada elevasi -2.0 m, elevasi permukaan air dihilir Dam Jagir menjadi 1.49 m.



Gambar 13. Profil permukaan air kali Surabaya dan Kali Wonokromo pada simulasi 6 dan elevasi pasang air laut -2.00 SHVP

Berdasarkan hasil simulasi simulasi diatas menunjukkan bahwa dengan mempertahankan penampang yang ada maka pola operasi bangunan bangunan pengatur akan efektif jika debit di kali Surabaya betul betul dibatasai seperti pada simulasi 6. Dengan cara ini maka elevasi muka air di masing masing dam masih dapat dipertahankan (Gambar 14).



Simulasi	Bukaan pintu (m)			
	Gn.sari P1	Gn.sari P1	Jagir	Gubeng
1	4	3.43	4	2
2	3.22	2.57	4	2
3	2.7	2.05	3.65	0.97
4	2.65	2	3.43	0.97
5	2.67	1.75	2.23	1.72
6	2.68	0.79	1.57	1.72

Gambar 14. Elevasi muka air di hulu dan hilir bangunan serta bukaan pintunya.

A. Normalisasi sungai

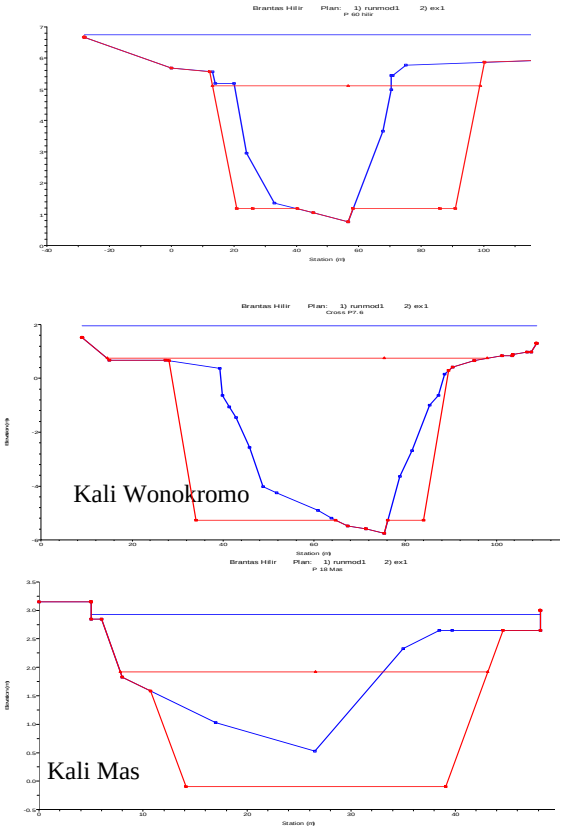
Dari hasil simulasi untuk debit aliran periode ulang 25 tahun diketahui bahwa penampang Kali Surabaya, Kali Wonokromo dan Kali Mas tidak mampu mengalirkan debit banjir diatas tanpa menimbulkan luapan air diatas tanggulnya. Oleh sebab itu dikaji upaya normalisasi.

Permodelan normalisasi di Kali Surabaya dilakukan pada penampang sungai mulai dari hulu Dam Jagir sampai dengan hilir Dam Gunungsari yaitu mulai stasiun 9.00 s/d stasiun 9.023 sepanjang 2453 m, mulai dari hulu Dam Gunungsari ke arah hulu yaitu dari Sta 9.23 s/d 9.090 sepanjang 17217 meter, dan mulai dari Stasiun 9.090 s/d stasiun 9.110 sepanjang 2000 meter.

Permodelan normalisasi di Kali Wonokromo dilakukan mulai Stasiun 8.102 s/d stasiun 8.144 sepanjang 4000 m, stasiun 8.000 s/d 8.100 sepanjang 10200 m.

Hasil normasilisasi beberapa penampang di Kali Surabaya, Kali Wonokromo dan Kali Mas dapat dilihat pada gambar15. perbandingan elevasi permukaan air dan tinggi bukaan pintu antara penampang eksisting dan penampang hasil modifikasi disajikan sebagai berikut pada tabel 6.

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X



Gambar 14. Perbandingan penampang asli dan penampang modifikasi

Tabel 6 Perbandingan tinggi bukaan pintu antara penampang asli & modifikasi

Pintu Air/ Dam	Penampang	Bukaan Pintu (m)	Elevasi muka hulu (m)	Debit (m3/dt)
Gunungsari	Mod	2.5/0.92	4.60	342.2
	Eksist	3.6/2.5	5.13	342.2
Jagir	Mod	2.12	3.17	419.0
	Eksist	4.00	4.11	419.0
Wonokromo	Mod	1.00	3.20	15.0
	Eksist	2.00	3.19	15.0
Gubeng	Mod	1.64	2.11	43.0
	Eksist	2.00	2.11	43.0

Dari Tabel 6 ditunjukkan bahwa pada saat di Dam Gunungari mengalir debit 342.20 m3/dt dengan bukaan pintu operasi setinggi 3.6 m dan keempat pintu banjir setinggi 2.5 meter elevasi permukaan air yang terjadi di hulu Dam Gunungsari adalah +5.13 meter. Elevasi ini lebih tinggi dari elevasi yang diharapkan yaitu + 4.6 s/d + 4.7 meter. Kondisi ini akan menyebabkan beberapa penampang di hulu Dam Gunungsari akan terjadi luapan air.

Namun setelah dilakukan modifikasi penampang maka elevasi permukaan air di hulu Dam Gunungsari dapat dipertahankan sesuai dengan keinginan yaitu + 4.60 meter dengan tinggi bukaan pintu operasi 2.5 meter dan keempat pintu banjir setinggi 0.92 meter. Dam Jagir pada simulasi dengan penampang eksisting debit sebesar 419 m3/dt menghasilkan permukaan air pada elevasi + 4.11 dengan tinggi bukaan pintu 4.0 meter (pintu dibuka penuh). Sedangkan simulasi dengan penampang modifikasi elevasi permukaan air dapat diturunkan pada elevasi + 3.17 seperti elevasi yang diharapkan terjadi di dam Jagir yaitu antara + 3.10 dan + 3.20.

B. Dam karet Gubeng dikempiskan

Mengempiskan dam Gubeng diuji dengan penampang eksisting dan penampang modifikasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan penampang eksisting Kali Mas tidak dapat dialirkan debit melebihi 43 m3/dt. Dengan penampang yang telah dimodifikasi dan mengempis dam.

Hasil yang diperoleh pada simulasi ini menunjukkan bahwa debit yang dapat mengalir adalah 60 m^3/dt di pintu air Wonokromo, 84 m3/dt di Dam Gubeng dan di sekitar muara Kali Mas. Sehingga bila hal ini dapat dilakukan maka akan mengurangi debit banjir di Kali Wonokromo kurang lebih sebesar 40 m3/dt yang dapat dialirkan ke Kali Mas.

3.3.2. Simulasi Permodelan Sistem Surabaya Timur.

Ada 2 daerah pematusan di Surabaya timur yang dipengaruhi oleh kondisi muka air Kali Wonokromo atau Kalimas yaitu *Kalibokor*, dan *Jeblokan*, pengaruh ini dikarenakan adanya pintu intake di kali Kalimas yang masuk ke daerah pematusan tersebut. Simulasi daerah pematusan Kalibokor dan Jeblokan lebih difokuskan pada pengaruh operasi Bangunan pengatur di kali Wonokromo dan Kali Mas terhadap banjir di daerah pematusan tersebut.

Sistem Drainase Kalibokor merupakan daerah Surabaya timur terdapat saluran sekunder Kalibokor yang dimulai dari intake Kalibokor (berada di Kalimas) dan bermuara

di laut. Ada 5 sub daerah pematusan yang dialirkan melalui 5 saluran tersier yang panjangnya antara 0.75 hingga 2,0 km (gambar 16). Simulai dilakukan dalam 8 kondisi operasi pintu bangunan pengatur di Kalimas seperti terlihat pada gambar 15.

Dari hasil simulasi yang hasilnya direkap kedalam tabel 7 menunjukkan bahwa Operasi Dam Karet Gubeng tidak mempunyai dampak yang signitifikan terhadap Daerah Pematusan Kalibokor kecuali pintu gelontor ditutup dan Mercu Dam Gubeng digembungkan. Hal ini terjadi karena Penampang sungai Kalimas di hulu Dam Gubeng sangat dangkal sehingga tidak mampu lagi memberi efek tampungan.

Dengan hasil analisa ini maka penyelesaian banjir Kalibokor tidak mungkin lagi dilakukan dengan mengatur operasi pintu yang ada di Kalimas tetapi harus dilakukan normalisasi saluran Kalibokor sepanjang 1,50 Km dari hilir yang semulai memiliki lebar dasar 5 hingga 12 meter maka harus dilebarkan menjadi 13m.

	A	B	C	Q
1	☒	◆	☒	20
2	☒	•	☒	20
3	☐	◆	☒	20
4	☐	•	☒	20
5	☒	◆	☐	20
6	☒	•	☐	20
7	☐	◆	☐	20
8	☐	•	☐	20

	A	B	C	Q
9	☒	◆	☒	50
10	☒	•	☒	50
11	☐	◆	☒	50
12	☐	•	☒	50
13	☒	◆	☐	50
14	☒	•	☐	50
15	☐	◆	☐	50
16	☐	•	☐	50

Keterangan
A Pintu Intake Kalibokor
B Mercu Dam Gubeng
C Pintu gelontor Dam Gubeng
Q Debit Kalimas (m3/dt)
☒ Pintu ditutup
☐ Pintu dibuka
◆ Mercu Dam digembungkan
• Mercu Dam dikempiskan

Gambar 15. Simulasi operasi bangunan

Daerah pematusan Medokan dengan saluran Medokan Semampir panjangnya sekitar 4980.25 m, mempunyai luas total keseluruhan ± 764.290 Ha dan terbagi menjadi 19 sub catchment. Dalam kajian ini dilakukan 8 model simulasi operasi pintu yang dimaksudkan untuk mengetahui sebeberapa besar pengaruh fluktuasi muka air Kali Wonokromo terhadap sistem drainase Medokan Semampir.

Simulasi dilakukan pada 2 bagian, bagian hilir Kali Wonokromo yaitu saat air laut pasang dan surut, dan pada bagian hulu dan hilir pintu air saluran Medokan Semampir saat operasi pintu dan operasi pompa dioperasikan maupun tidak dioperasikan.

Tabel 7. Perbandingan tinggi bukaan pintu antara penampang asli & modifikasi

Kondisi Operasi	Elev. Up stream Pintu Kalibokor	Elev. up stream Dam Gubeng
Q = 20 m3/dtk, pintu gelontor Gubeng dibuka		
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Tutup	28.053	0.7183
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Buka	28.053	0.702
Pintu Kalibokor Buka, Dam Tutup	25.616	0.5868
Pintu Kalibokor Buka, Dam Buka	25.616	0.5754
Q = 50 m3/dtk, pintu gelontor Gubeng dibuka		
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Tutup	32.793	1.531
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Buka	32.773	14.811
Pintu Kalibokor Buka, Dam Tutup	31.843	1.47
Pintu Kalibokor Buka, Dam Buka	31.843	1.42
Q = 20 m3/dtk, pintu gelontor Gubeng ditutup		
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Tutup	3.42	34.732
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Buka	28.053	0.7018
Pintu Kalibokor Buka, Dam Tutup	33.945	34.448
Pintu Kalibokor Buka, Dam Buka	25.546	0.5709
Q = 50 m3/dtk, pintu gelontor Gubeng ditutup		
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Tutup	3.842	38.553
Pintu Kalibokor Tutup, Dam Buka	32.773	14.799
Pintu Kalibokor Buka, Dam Tutup	38.601	38.712
Pintu Kalibokor Buka, Dam Buka	31.843	14.106

Bukaan pintu Jagir ditetapkan 4 meter, dengan debit yang telah diketahui sebelumnya, yaitu 88.99 m3/det, 36.19 m3/det, 1.66 m3/det, dan terjadinya pasang surut air laut di Selat Madura +0.52 dan -2.72. Pintu air Medokan diuji dengan dibuka antara 0.5-3 meter, dan pompa dioperasikan dengan kapasitas 6.3 m3/det.

Dalam kondisi air laut pasang + 0.52 terlihat bahwa pada pengujian 1 dan 2, elevasi hulu saluran Medokan saat pompa dioperasikan dan saat pompa tidak dioperasikan adalah +1.06 dan +2.24, untuk hilir saat pompa dioperasikan dan tidak dioperasikan adalah +0.65 dan +0.61. sehingga terjadi beda tinggi sebesar 1.18 meter. Pada pengujian ini pintu Medokan dioperasikan dengan dibuka sebesar 0.5 meter. Sedangkan pada pengujian 3 dan 4, pintu dibuka sebesar 3 meter dengan pompa dioperasikan dan tidak dioperasikan, elevasi pada hulu pintu air +0.66 dan +0.63. Untuk elevasi di hilir yaitu +0.65 dan +0.61.

Dalam keadaan laut surut, luapan air tertinggi juga sama seperti pada saat laut pasang yaitu pada seluruh ruas saluran Medokan dengan elevasi permukaan air saluran +2.24, dengan pintu dibuka 0.5 meter dan tanpa pengoperasian pompa. Pada saat pompa dioperasikan dengan bukaan pintu tetap, elevasi muka air turun

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

menjadi +0.79. Elevasi hilir pintu saat pompa dioperasikan dan saat pompa tidak dioperasikan yaitu +0.08 dan +0.22.

4. KESIMPULAN

Merujuk permasalahan yang ingin diangkat pada penelitian ini, secara umum dapat kesimpulan bahwa pada saat terjadi debit maksimum Q25 maka bangunan bangunan pengatur di kali Surabaya, kali Wonokromo, dan Kalimas sudah tidak efektif lagi diandalkan sebagai upaya untuk mengurangi banjir di Kota Surabaya. Hal ini terjadi karena kapasitas ketiga sungai tersebut sudah tidak memadai lagi untuk debit Q25 sehingga upaya normalisasi harus segera dipikirkan.

Berdasarkan analisa / simulasi model diperoleh beberapa hasil sebagai berikut :

1. Pada saat terjadi banjir Q25, Kali Surabaya, Wonokromo, dan Kalimas sudah sangat sulit dikendalikan. Elevasi muka air di hulu pintu Jagir dan Gunungsari sudah tidak mungkin lagi dijaga sesuai dengan yang diharapkan walaupun semua pintu telah dibuka.
2. Kapasitas maksimum saat ini yang masih mampu dilewatkan kali Surabaya, Wonokromo, dan Kalimas adalah kurang dari 60% debit Q25.
3. Mengingat sulitnya pembebasan tanah untuk kebutuhan normalisasi maka upaya upaya yang bisa dilakukan adalah menekan debit Cara ini dapat dilakukan dengan menahan debit kali Marmoyo sebesar 200m3/dt, kali Kedurus sebesar 40 m3/dt, dan Pintu Mlirip di hulu kali Surabaya harus ditutup total.
4. Jika Normalisasi sungai merupakan upaya yang harus ditempuh maka dimensi sungai dapat ditetapkan sebagai berikut,

Sungai	Panjang	Kemiringan	Lebar
Surabaya	2,45 Km	0,00107	70 m
Surabaya	17,2 Km	0,00014	70 m
Surabaya	2,0 Km	0,00014	60 m
Wonokromo	4,0 Km	0,00014	45 m
Wonokromo	10,2 Km	0,00014	50 m

5. Mengembang kempiskan Bendung Gubeng tidak mampu mengurangi banjir di Kota Surabaya khususnya daerah pematusan Kalibokor. Sehingga pendapat tentang optimalisasi operasi dam Gubeng untuk mengurangi banjir kota Surabaya yang berkembang saat ini tidak dapat dibenarkan. Upaya untuk mengatasi banjir di kawasan kalibokor ini tidak ada cara lain kecuali dengan normalisasi saluran terutama bagian hilir dengan lebar 13 m.
6. Optimalisasi operasi pintu dan pompa Medokan Semampir tidak mengurangi banjir yang terjadi saat ini, hanya mengurangi tinggi muka air sebesar 20 cm. Hal ini terjadi karena kejadian banjir justru di bagian hulu yang jauh dari pintu dan pompa. Upaya yang perlu dilakukan adalah melakukan normalisasi saluran pada bagian hulu atau melakukan sudetan dibagian ruas tengah menuju langsung ke kali Wonokromo dengan cara dipompa.

5. DAFTAR ACUAN

Japan International Coorporation Agency, 1995, *Final Report for The Study of Flood Control and Drainage Project*, Tokyo

Perum Jasa Tirta, 2003, *Laporan Kajian Kapasitas Sungai Kali Surabaya*, Malang

NMCP, 2004, *NMCP Report for Surabaya Drainage 2004*, Surabaya

MacDonald Cambridge,UK and Tricon Jaya, PT, 2000, *Final Report for The Surabaya Drainage Master Plan 2018*, Surabaya

Resco.PT, 2003, *Laporan Akhir SID Kali Marmoyo*, Surabaya

US Army Corp Engineering, 2003, *HEC-RAS Hydraulic Reference*, Davis

Symphorian, G.R., 2002, *Dam operation for environmental flow releases; the case of Osborne dam*, Save

Topping, C., 2000, *Assessment of Environmental Reserve for Water Resource Planning,* Hydrology Section

Wallingford HR., 2000, *Handbook for the assessment of catchment water demand and use (Draft for discussion)*. Ministry of Rural Resources and Water Development, Harare

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Volume 2, Nomor 1, Pebruari 2007

Analisa Model Gravity dan Analogi Fluida padaTrip Distribusi Penumpang Angkutan Kota Trayek Terminal Bratang – JMP Surabaya

Achmad Faiz Hadi P.
Dosen D3 Teknik Sipil FTSP-ITS
email: faiz@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Angkutan umum perkotaan merupakan bagian dari suatu system transportasi kota. Tingkat kebutuhan angkutan umum erat kaitannya dengan pola pergerakan atau penyebaran perjalanan (trip distribusi) pengguna jasa angkutan umum (penumpang). Pola penyebaran perjalanan penumpang dapat dinyatakan dalam bentuk suatu Matrik Asal Tujuan (MAT) penumpang. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pola pergerakan perjalanan (trip distribusi) penumpang angkutan kota Bemo Lyn Q dan Bemo Lyn N sebagai trayek mikrolet Terminal Bratang - JMP Surabaya yang dibentuk dalam suatu Matrik Asal Tujuan (MAT) berdasarkan hasil pengamatan (observasi) lapangan, Model Analogi Fluida dan Model Gravity. MAT hasil permodelan dilakukan perbandingan terhadap MAT hasil pengamatan untuk mengetahui model yang terbaik diantara keduanya dengan mengadakan uji suai statistik Kolmogorov-Smirnov, Pair-T test, Mann-whitney dan Root Means Square Error(RMSE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembentukan Matrik Asal Tujuan sebagai suatu bentuk dari penyebaran perjalanan penumpang berdasarkan pemodelan mempunyai kesesuaian dengan hasil pengamatan lapangan berdasarkan hasil uji Kolmogorov-Smirnov pada taraf nyata α = 4 %. Matrik Asal Tujuan Model Analogi Fluida dapat dinyatakan sama dengan Model Gravity berdasarkan nilai signifikan RMSE pada tiga desimal, untuk nilai signifikan empat desimal atau lebih, Model Analogi Fluida lebih baik dari Model Gravity.

Kata Kunci : Trip Distribusi, Model Gravity, Model Analogi Fluida, Uji Statistik

1. PENDAHULUAN

Kecendrungan masyarakat kota menggunakan kendaraan pribadi dalam mengadakan perjalanan pada tingkat-tingkat tertentu dapat menimbulkan masalah transportasi yang memerlukan penyelesaian. Salah satu cara menurunkan tingkat penggunaan kendaraan pribadi adalah meningkatkan system pelayanan angkutan umum, sehingga pemakai kendaraan pribadi berkenan menggunakan jasa angkutan umum, khususnya angkutan kota.

Surabaya sebagai ibukota Propinsi Jawa Timur secara administratif merupakan Kotamadya yang terbagi atas lima wilayah pembantu Walikota yaitu Kawasan Surabaya Barat, Surabaya Selatan, Surabaya Utara, Surabaya Pusat, dan Surabaya Timur. Masing-masing kawasan memiliki berbagai pusat aktivitas sosio-ekonomi yang dilakukan oleh masyarakat dengan jumlah sekitar dua setengah juta jiwa, hal ini dapat dilihat dengan adanya perkembangan sektor industri, perdagangan dan sarana pendidikan.

Kelancaran berbagai aktivitas tersebut tidak terlepas dari keleluasaan pergerakan bila tersedianya sarana dan prasarana transportasi yang baik.

Angkutan umum di Surabaya terdiri dari beberapa moda yaitu : bus kota, mokrolet (popular dengan sebutan bemo), taxi, angguna, dan becak. Masing-masingnya melayani kebutuhan perjalanan masyarakat Surabaya yang tersebar dalam 31 kecamatan dengan 162 kelurahan di lima wilayah bagian administrasi. Rute bus kota membujur arah Utara – Selatan melalui koridor tengah kota, dan menghubungkan Terminal Purabaya di ujung selatan kota dengan Terminal Jembatan Merah di pusat kota, Pelabuhan Tanjung Perak di Utara, Terminal Joyoboyo sebagai terminal transfer terbesar, Terminal Bratang di Timur, dan Darmo Permai di Barat. Rute mikrolet (bemo) menyebar di masing-masing wilayah bagian Surabaya, ada yang melalui Terminal Joyoboyo, Terminal Bratang, terminal Kenjeran, dan ada pula yang hanya sebagai tempat pangkalan

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

seperti di Petojo, Rungkut, Gunung Anyar, Benowo, Menangggal, Sedayu, dan Dukuh Kupang.

Data yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Pemerintah Kota Surabaya menunjukkan bahwa angkutan umum mokrolet (bemo) berdasarkan route/jalur yang ditempuh berjumlah 4684 kendaraan yang terbagi atas 57 kode lyn. Sistem pengoperasiannya masih banyak yang tumpang tindih sehingga ada beberapa rute sering dilalui oleh beberapa jenis mikrolet. Hal ini dapat dihindari bila diketahui tingkat kebutuhan perjalanan penumpang berdasarkan pola pergerakannya.

Tingkat kebutuhan pelayanan angkutan guna penyediaan moda angkutan umum dapat dilakukan bila diketahui pola pergerakan penumpang. Gambaran pola pergerakan penumpang angkutan kota dapat diketahui dengan membentuk pergerakan penumpang sebagai suatu matrik pergerakan yang dinyatakan dalam bentuk matrik asal tujuan (MAT). Banyak metoda telah dikembangkan untuk mendapatkan MAT. Salah satu metoda yang sering digunakan adalah Model Gravity (GR). Metoda lain yang juga telah dikembangkan adalah Metoda Analogi Fluida (AF) yang diperkenalkan oleh Tsygalnitzky pada tahun 1977 dan telah diuji pada rute bus di Amerika Selatan dengan hasil yang memuaskan. (Simon, dan Furth,1985)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pola pergerakan penumpang angkutan kota untuk trayek mikrolet Terminal Bratang – Jembatan Merah Plaza (JMP) Surabaya, yaitu Bemo Lyn Q dan Lyn N. Pembentukan MAT penumpang berdasarkan data hasil observasi dan berdasarkan permodelan dengan menggunakan Metoda Analogi Fluida dan Metoda Gravity. Pengujian secara statistik dilakukan untuk mengetahui keabsahan MAT pemodelan terhadap MAT hasil observasi.

Data pengamatan adalah data naik turun penumpang sepanjang zona yang dilewati bemo Lyn Q dan Lyn N baik dari Jurusan Terminal Bratang menuju ke Jembatan Merah Plaza (JMP) ataupun dari Jurusan Jembatan Merah Plaza (JMP) menuju ke Terminal Bratang. Dilaksanakan pada tanggal 30 dan 31 Oktober 2005, jam sibuk (07.10 – 08.10) dan jam sepi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Tamin (1997), perencanaan transportasi merupakan suatu proses yang dinamis dan tanggap terhadap perubahan tata guna tanah, keadaan ekonomi dan kondisi lalu lintas. Suatu perencanaan transportasi dimaksudkan untuk mengatasi masalah transportasi yang terjadi sekarang dan mungkin terjadi di masa mendatang. Tujuan merencanakan transportasi adalah mencari penyelesaian masalah transportasi dengan cara yang paling tepat dengan menggunakan sumber yang ada. Merencanakan tranportasi pada dasarnya adalah memperkirakan kebutuhan transportasi di masa depan yang harus dikaitkan dengan masalah teknis transportasi yang pada umumnya bertolak dari usaha menjamin bahwa sarana yang telah ada didayakan secara optimum dan ditujukan guna merancang dan membangun berbagai sarana baru.

Terdapat beberapa konsep perencanaan transportasi yang telah berkembang. Yang paling dikenal adalah model perencanaan transportasi empat tahap, meliputi bangkitan perjalanan (*Trip Generation*), penyebaran perjalanan (*Trip Distribution*), pemilihan moda (*Modal Split)*, dan pembebanan ruas jalan (*Trip Asignment*). Model perencanaan ini merupakan gabungan dari beberapa seri submodel yang masing-masing harus dilakukan secara terpisah dan berurutan, adapun sunmodel tersebut adalah Aksesibilitas, Bangkitan dan Tarikan Pergerakan, Sebaran Pergerakan, Pemilihan Moda, Pemilihan Rute, dan Arus lalu lintas dinamis.

Pola pergerakan dalam system transportasi sering dijelaskan dalam bentuk arus pergerakan (kendaraan, penumpang dan barang) yang bergerak dari zona asal (origin) ke zona tujuan (destination) dalam daerah tertentu dan selama periode waktu tertentu. Pola pergerakan ini diformulasikan dalam bentuk Matrik Asal – Tujuan (MAT). Matrik Asal-Tujuan adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antar lokasi (zona) di dalam daerah tertentu. Baris menyatakan zona asal dan kolom menyatakan zona tujuan, sehingga sel matriknya menyatakan besarnya arus dari

zona asal ke zona tujuan. Bentuk umum dari Matrik Asal-Tujuan (MAT) seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk Umum Matriks Asal-Tujuan

Zona	1	2	3	.....	n	Oi
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	.....	T_{1n}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	.....	T_{2n}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	.....	T_{3n}	O_3
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
N	T_{11}	T_{11}	T_{11}	.....	T_{11}	O_n
Dd	D_1	D_2	D_3	.....	D_n	T

Salah satu cara mendapatkan MAT dilakukan dengan mengumpulkan data penumpang dengan mengikuti kendaraan. Cara ini merupakan penerapan dari metode yang diperkenalkan oleh Tsygalnitzky pada tahun 1977, dilakukan pada suatu rute didasari pada hasil perhitungan naik turun penumpang (on-off data) dengan pertimbangan bahwa pada suatu titik perhentian tertentu setiap penumpang memenuhi syarat dan mempunyai kesempatan yang sama untuk turun.

Diasumsikan bahwa perjalanan penumpang dianggap sebagai fluida yang bergerak dalam pipa sehingga memudahkan perhitungan. Lokasi naik turun penumpang dikumpulkan dalam zona-zona, dimana pembagian zona dibuat sedemikian rupa sehingga tidak ada penumpang yang melakukan perjalanan dalam satu zona.

Setiap penumpang yang naik dari suatu zona mempunyai kemungkinan untuk turun pada semua zona berikutnya. Besar probabilitas tersebut sesuai dengan jumlah penumpang turun pada masing-masing zona. Apabila setelah menurunkan dan menaikkan penumpang pada suatu zona masih terdapat sejumlah penumpang didalam angkutan, maka sejumlah penumpang tersebut mempunyai kemungkinan untuk turun pada tiap zona berikutnya sesuai jumlah penumpang yang turun pada masing-masing zona tersebut. (Tsygalnitsky, 1977, Simon & Furth, 1985 dalam Herijanto W, 2001).

Formulasi perhitungan yang digunakan sebagai berikut :

1. Inisialisasi

$V_{ij} = 0$ .....(1)

$e_{ij} = 0$ untuk semua *i,j* dimana $j < i+m$ .....(2)
(dengan anggapan nilai minimum *m* = 1)

$e_{i,i+m} = V_i$ untuk semua *i* = 1, ., ., *n-m* .....(3)

$j = m + 1$

2. Perhitungan :

$e_j = \Sigma e_{ij}$ .....(4)

$f_j = \frac{V_i}{e_j}$ .....(5)

$V_{ij} = f_j \,.\, e_{ij}$ untuk i = 1, .., j-m .....(6)

$e_{i,j+1} = e_{ij} - V_{ij}$ .....(7)

3. Pengulangan perhitungan :
Jika j = n, perhitungan dihentikan (selesai).
Jika j ≠ n, set j = j + 1 dan kembali ke langkah 2 (perhitungan).

Dimana :

V_{ij} = jumlah penumpang naik di zona i turun di zona j, i < j

$V_i = \Sigma V_{ij}$ = jumlah penumpang naik di zona i, j > i

$V_j = \Sigma V_{ij}$ = jumlah penumpang turun di zona j, i < j

e_{ij} = jumlah penumpang yang naik di zona i berkemungkinan turun di zona j

e_j = jumlah penumpang yang berkemungkinan turun di zona j

f_j = peluang bagi penumpang yang mungkin turun di zona *j*

m = jarak perjalanan terdekat dari tempat pemberhentian
m = 1, jika berhenti untuk turun.

Perhitungan-perhitungan pada Metode Analogi Fluida Tsygalnitzky's dilakukan dengan menggunakan data naik turun penumpang sehingga terbentuk matrik Asal Tujuan (MAT) pada satu rute sederhana. Ilustrasi langkah perhitungan di atas dapat dinyatakan dalam bentuk suatu tabel seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisa MAT dengan Metode Analogi Fluida Tsygalnitsky's

Asal \ Tujuan	2	3	4	……..	n	Jlh Naik
1	$e_{12=V1}$ V_{12}	e_{13} V_{13}	e_{14} V_{14}	….. …..	e_{1n} V_{1n}	V_1
2		$e_{23=V2}$ V_{23}	e_{24} V_{24}	….. …..	e_{2n} V_{2n}	V_2
3			$e_{34=V3}$ V_{34}	….. …..	e_{3n} V_{3n}	V_3
……					$e_{...n}$ $V_{...n}$	$V_{....}$
n - m					$e_{(n-m)n=V(n-m)}$ $V_{(n-m)n}$	V_{n-m}
JlhPnp / Jlh Trn	e_2 V_2	e_3 V_3	e_4 V_4	$e_{.....}$ $V_{.....}$	e_n V_n	
Ratio (f_j)	V_2/e_2	V_3/e_3	V_4/e_4	$V_{.....}/e_{...}$	V_n/e_n	

Cara lain untuk membentuk MAT adalah dengan metode sintetis, salah satunya yang paling terkenal dan sering digunakan dalam proses estimasi distribusi pergerakan adalah model Gravity. Model gravity ini mempunyai ciri bangkitan dan tarikan pergerakan berkaitan dengan beberapa parameter zona asal, misalnya populasi, dan nilai sel MAT yang berkaitan dengan fungsi waktu, jarak dan biaya.

Menurut Tamin (1997), bentuk umum dari gravity model adalah :

$$T_{id} = O_i . D_d . A_i . B_d . f(C_{id}) \quad \text{..... (8)}$$

dengan nilai :

$$A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d . D_d . f_{id})} \quad \text{.....(9)}$$

$$B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i . O_i . f_{id})} \quad \text{.....(10)}$$

Berdasarkan jenis pembatasnya, maka Model Gravity dibedakan menjadi 4 model, yaitu :

1. UCGR (Unconstrained Gravity Model)
2. PCGR (Production Constrained Gravity Model)
3. ACGR (Attraction Constrained Gravity Model)
4. DCGR (Double Constrained Gravity Model)

Fungsi Hambatan

Fungsi hambatan digunakan untuk mengkalibrasi parameter – parameter dari Model Gravity sehingga perbedaan antara distribusi pergerakan yang dihitung dari hasil model ($T_{id\text{-model}}$) dengan distribusi pergerakan yang diperoleh dari data pengamatan ($T_{id\text{-data}}$) memberikan harga yang minimum.

Ada tiga bentuk metode analisis regresi yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi Model Gravity, yaitu :

1. Fungsi exponensial :
$$f_{id} = \exp(-\beta . C_{id}) \quad \text{.....(11)}$$
2. Fungsi pangkat :
$$f_{id} = \exp(-\beta . \log_e . C_{id}) \quad \text{..... (12)}$$
3. Fungsi Tanner :
$$f_{id} = \exp(-\beta . \log_e . C_{id} - \beta . C_{id}) \quad \text{.. (13)}$$

Dimana :

$\beta =$ parameter dari model yang belum diketahui yang harus dikalibrasi

$C_{id} =$ merupakan fungsi dari jarak, atau waktu atau biaya perjalanan.

Menurut Tamin (1997), nilai β dapat dicari dengan menggunakan perumusan metode Hyman (1969). Perumusan nilai β ini dipilih sehingga biaya rata – rata perjalanan yang didapat dari pengamatan sama dengan yang dihasilkan dalam proses pemodelan. Adapun

langkah-langkah metode Hyman adalah sebagai berikut :

1. Dimulai dengan iterasi pertama dengan m = 0

   $\beta_0 = \frac{1}{c^*}$ dimana c^* = Biaya perjalanan rata – rata

   nilai $c^* = \frac{\sum_{ij}(N_{ij}.C_{ij})}{\sum_{ij} N_{ij}}$ ..... (14)

2. Buat m = m + 1; dengan menggunakan nilai $\beta_{(m+1)}$, hitung matriks dengan menggunakan model Gravity Model. Dapatkan biaya rata – rata c_m dan bandingkan nilai tersebut dengan c^*, jika perbedaan cukup kecil, proses dihentikan dan nyatakan $\beta_{(m-1)}$ sebagai nilai β terbaik, jika tidak, teruskan ke tahap 3.
3. Jika m = 1 hitung nilai β baru dengan persamaan berikut :

   $\beta_1 = \frac{c_1.\beta}{c^*}$ ..... (15)

   atau jika m $\geq$ 1, dapatkan nilai β baru dengan persamaan :

   $\beta_{m+1} = \frac{(c^* - c_{(m-1)}).\beta_m - (c^* - c_m)\beta_{(m-1)}}{(c_m - c_{(m-1)})}$ ... (16)

   perhitungan tahap 3 dilakukan untuk menjamin dipenuhinya persamaan (14).
4. Ulangi tahap 2 dan 3 seperti disyaratkan, sampai konvergensi tercapai.

Pengujian Statistik terhadap distribusi yang diasumsikan

Pelaksanaan pengujian keabsahan Matrik Asal Tujuan hasil pemodelan terhadap hasil pengamatan di lapangan digunakan beberapa indikator statistik yaitu Uji Kolmogorov-Smirnov, Pair-T Test, Mann-Whitney dan Root Means Square Error (RMSE).

Uji Kolmogorof-Smirnov

Menurut Ang, Alfredo dan Tang, Wilson (1992), bila suatu distribusi teoritis diasumsikan berdasarkan data, maka keabsahan (validity) dari distribusi tersebut dibenarkan atau disangkal secara statistik dengan uji kebaikan suai. Salah satu metode yang tersedia untuk pengujian tersebut adalah Uji Kolmogorov-Smirnov

Pair T-Test

Merupakan uji kesesuaian rata-rata data dan model serta daerah interval kesesuiannya.

Mann-Whitney Confidence and Test

Merupakan uji kesesuaian median data dan model serta daerah kesesuaiannya.

Root Mean Square Error (RMSE)

Akar kesalahan kuadrat rata – rata (root mean square error) adalah ukuran kesalahan yang didasarkan pada selisih antara dua buah nilai yang bersesuaian, didefinisikan sebagai :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (T_{id-o} - T_{id-e})^2}{N(N-1)}}$$

Untuk i $\neq$ d .....(17)

Di mana :

T_{id-o} = Data hasil pengamatan
T_{id-e} = Data hasil estimasi
N = Jumlah data

Bila semakin besar nilai RSME berarti makin tidak tepat hasil yang didapat dari model jika dibandingkan dengan pengamatan dan demikian pula sebaliknya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Langkah-Langkah

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penyelesaian penelitian ini seperti yang diilustrasikan pada gambar 1. Penelitian ini dilakukan dalam Wilayah Kotamadya Surabaya untuk wilayah pelayanan rute angkutan mikrolet Terminal Bratang - JMP, yaitu daerah yang dilewati oleh Bemo Lyn Q dan Bemo Lyn N. Pembagian zona kawasan studi seperti yang tertera pada Tabel 3.

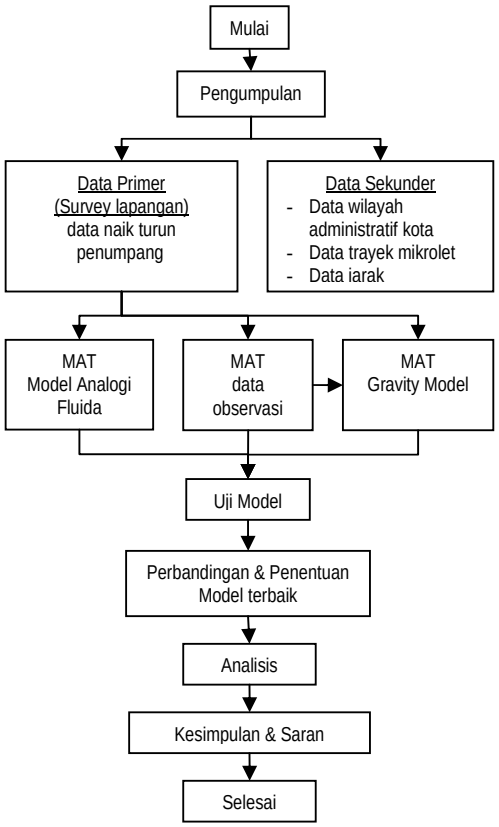
3.2. Metoda Pengumpulan Data

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari Instansi Pemerintah Dinas Perhubungan Kota Surabaya. Data sekunder yang diperlukan meliputi : Nama Lyn Mikrolet di Wilayah Surabaya terutama yang melalui Terminal Bratang, Rute tempuh, dan jarak tempuh masng-masingnya.

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Tabel 3. Pembagian Zona

Zona	Kelurahan	Kecamatan	Wilayah
1	Barata Jaya	Gubeng	Surabaya Timur
2	Nginden Jangkungan	Sukolilo	
3	Menur Pumpungan		
4	Manyar Sabrangan		
5	Ngagel Rejo	Wonokromo	Surabaya Selatan
6	Kertajaya	Sukolilo	Surabaya Timur
7	Mojo		
8	Pucang Sewu		
9	Ngagel	Wonokromo	Surabaya Selatan
10	Gubeng	Gubeng	Surabaya Timur
11	Darmo	Wonokromo	Surabaya Selatan
12	Keputran	Tegalsari	Surabaya Pusat
13	Dr. Sutomo		
14	Wonorejo		
15	Kedungdoro		
16	Sawahan	Sawahan	Surabaya Selatan
17	Genteng	Genteng	Surabaya Pusat
18	Ketabang		
19	Alun-alun Contong	Bubutan	
20	Bubutan		
21	Kemayoran	Krembangan	Surabaya Utara
22	Krembangan Selatan		



Gambar 1. Bagan Alir Penyelesaian studi penelitian

Data lainnya yaitu batasan wilayah administratif Kota Surabaya diperoleh dari peta yang dikeluarkan oleh CV. Indo Prima Sarana Surabaya.

Data Primer merupakan data yang diperoleh langsung di lapangan, dilakukan dengan menurunkan surveyor untuk ikut diatas mikrolet. Hasil pencatatan data pada lembaran formulir pengamatan dilakukan pentabelan secara matrik sesuai dengan waktu pengamatan masing-masingnya untuk jangka waktu 1 jam

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.Umum

Analisa penyebaran perjalanan (trip disribusi) penumpang angkutan kota guna mendapatkan suatu bentuk Matrik Asal Tujuan penumpang dalam penelitian ini digunakan Model Analogi Fluida Tzygalnitsky's dan Gravity Model Double Constrain.

Perhitungan yang dilakukan dengan Gravity Model menggunakan jarak sebagai faktor hambatannya, sedangkan fungsi faktor hambatan yang digunakan adalah fungsi exponensial.

Hasil perhitungan dari masing-masing model tersebut dilakukan pengujian statistik untuk mendapatkan tingkat keabsahan model terhadap data, kemudian dibandingkan hasil keduanya untuk mendapatkan suatu Matrik Asal Tujuan Penumpang yang terbaik.

4.2. Analisa Pemodelan Distribusi Perjalanan Penumpang dengan Metoda Analogi Fluida Tsygalnitzky

Sebelum proses analisa dilakukan, data naik turun penumpang hasil observasi lapangan ditabulasikan, selanjutnya proses penyelesaiannya mengikuti ilustrasi seperti yang terdapat pada Tabel 2.

4.3.Analisa Pemodelan dengan Gravity Model

Penaksiran nilai β diperlukan untuk mendapatkan nilai pengkalibrasian parameter model gravity, dalam penelitian ini perumusan nilai β dicari dengan metode Hyman.

Nilai β dapat dicari dengan data – data awal harga Oi dan Dd yang telah diketahui. Nilai β_0 didapat dari persamaan (14).

Kemudian nilai tersebut dilakukan iterasi (pengulangan) dengan perubahan data Ai dan Bd secara bergantian hingga hasilnya konvergen, kemudian dihitung matrik pergerakan dengan menggunakan persamaan (8) dan (11), dan juga dihitung nilai c'. Nilai c' ini kemudian dibandingkan dengan nilai c* (nilai c sebelumnya). Apabila nilainya sama dengan atau mempunyai perbedaan yang cukup kecil maka dinyatakan nilai $\beta_{(m-1)}$ sebagai nilai terbaik dari β. Jika hasilnya tidak sama, maka dilanjutkan ke proses perhitungan selanjutnya dengan menggunakan nilai ß dari persamaan (15). Ulangi proses perhitungan sampai diperoleh hasil yang konvergen sehingga didapatkan harga β yang diharapkan.

Setelah nilai faktor hambatan jarak diperoleh, maka dibentuk matriks fungsi hambatan jarak. Diteruskan dengan proses iterasi untuk mendapatkan nilai A_i dan B_d yang tetap tetap (konvergen).

Dari hasil iterasi yang dilakukan didapat nilai A_i, O_i, B_d, D_d . Setelah nilai – nilai A_i, O_i, B_d, D_d diketahui, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai A_i, O_i, B_d, D_d kedalam persamaan Tij model untuk membentuk Matrik Asal Tujuan dengan mendapatkan hasil masing-masing sel, pelaksaannya sebagai berikut :

$$T_{11} = A_1.O_1.B_1.D_1.f(C_{11})$$
$$T_{12} = A_1.O_1.B_2.D_2.f(C_{12})$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$T_{nn} = A_n.O_n.B_m.D_m.f(C_{nm})$$

Nilai ß hasil perhitungan untuk masing-masingnya seperti tercantum pada Tabel 4.

Hasil perhitungan data distribusi perjalanan penumpang berdasarkan Metoda Analogi Fluida Tzygalnistky dan Gravity Model diurutkan berdasarkan zona asal dan tujuan seperti tercantum pada Tabel 5 s/d Tabel 8.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai ß Bemo Lyn Q dan Lyn N

No.	Bemo	Jurusan	Wkt	Nilai β
1	Lyn Q	Term. Brtng - JMP	Jam	0.160925
2		JMP - Term. Brtng	Sbk	0.169801
3		Term. Brtng - JMP	Jam	0.162067
4		JMP - Term. Brtng	Sepi	0.191639
5	Lyn N	Term. Brtng - JMP	Jam	0.143785
6		JMP - Term. Brtng	Sbk	0.135363
7		Term. Brtng - JMP	Jam	0.141116
8		JMP - Term. Brtng	Sepi	0.144767

4.4. Pengujian model dengan Indikator Statistika

Hasil pengujian yang dilakukan dalam penelitian secara Paired T-test dan Confidence Interval, Mann-Withney dan Confidence Interval test, Root Means Square Error, menunjukkan adanya kesesuaian antara model dan data lapangan

Tabel 5. Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov

No.	Bemo	Wkt Peng.	Jurusan	Uji Kolmogorov-Smirnov				Keterangan
				ks		p-value		
				AF	GM	AF	GM	
1	Lyn Q	Jam Sbk	T. Brtng - JMP	0.1364	0.1364	0.575	0.575	Terima Ho untuk α = 5 %
2			JMP - T. Brtng	0.1364	0.1364	0.575	0.575	Terima Ho untuk α = 5 %
3		Jam Sepi	T. Brtng - JMP	0.2424	0.2424	0.041	0.041	Tolak Ho untuk α = 5 %, tetapi Ho diterima untuk α = 4 %
4			JMP - T. Brtng	0.1667	0.1667	0.320	0.320	Terima Ho untuk α = 5 %
5	Lyn N	Jam Sbk	T. Brtng - JMP	0.1778	0.1778	0.480	0.480	Terima Ho untuk α = 5 %
6			JMP - T. Brtng	0.2222	0.2222	0.218	0.218	Terima Ho untuk α = 5 %
7		Jam Sepi	T. Brtng - JMP	0.1778	0.1778	0.480	0.480	Terima Ho untuk α = 5 %
8			JMP - T. Brtng	0.2667	0.2667	0.081	0.081	Terima Ho untuk α = 5 %

Jurnal APLIKASI
ISSN.1907-753X

Tabel 6. Hasil Uji Nilai RMSE

No.	Bemo	Wkt Pengtn	Jurusan	Nilai RMSE		Keterangan
				Model AF	Model GR	
1	Lyn Q	Jam Sibuk	T. Brtng - JMP	0.262680	0.262792	AF lebih baik dari MG
2			JMP - T. Brtng	0.290711	0.290711	AF sama dengan MG
3		Jam Sepi	T. Brtng - JMP	0.265265	0.265378	AF lebih baik dari MG
4			JMP - T. Brtng	0.211028	0.211028	AF sama dengan MG
5	Lyn N	Jam Sibuk	T. Brtng - JMP	0.481830	0.481830	AF sama dengan MG
6			JMP - T. Brtng	0.255992	0.255992	AF sama dengan MG
7		Jam Sepi	T. Brtng - JMP	0.346634	0.346634	AF sama dengan MG
8			JMP - T. Brtng	0.222753	0.222753	AF sama dengan MG

Tabel 7. Daftar Nama Angkutan Kota yang melewati Terminal Bratang

No.	Nama Angkot	Rute/jalur yang dilewati
1	BM	T. Bratang – Menanggal
2	JBM	Joyoboyo – T. Bratang – Medokan
3	***N***	***Jembatan Merah - Menur - T. Bratang***
4	***Q***	***Jembatan Merah - T. Bratang***
5	RBK	Rungkut – T. Bratang – Kenjeran
6	RT	Rungkut – T. Bratang - Pasar Turi
7	S	Joyoboyo – T. Bratang - Kenjeran
8	UBB	Ujung Baru – T. Bratang
9	WB	T. Bratang - Wonosari Lor

Sumber : Dinas Perhubungan Pemerintah Kota Surabaya 2004

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui bahwa penyebaran perjalanan penumpang Bemo Lyn Q dan bemo Lyn N yang dibentuk dalam suatu Matrik Asal Tujuan (MAT) berdasarkan Model Analogi Fluida Tzygalnitski dan Model Gravity mempunyai kesesuian bentuk dengan penyebaran penumpang hasil observasi lapangan (data), hal ini dapat dilihat dari hasil uji Kolmogorov-Smirnov bila taraf nyata α = 4 %. Tetapi untuk taraf nyata α = 5 %, pengujian terhadap penyebaran penumpang Bemo Lyn Q Jurusan Terminal Bratang – JMP pengamatan Jam Sepi tidak memenuhi (penyebarannya tidak sama), nilai p-valuenya = 0.041 < 0.05 sehingga Tolak Ho, untuk yang lain nilai p-valuenya > 0.05 sehingga terima Ho.
2. Rata-rata penyebaran perjalanan penumpang dalam bentuk Matrik Asal Tujuan (MAT) hasil perhitungan berdasarkan Model Analogi Fluida Tzygalnitski dan Model Gravity mempunyai kesesuian dengan rata-rata penyebaran penumpang hasil observasi lapangan (data). Hal ini dapat dilihat dari hasil uji Paired T-Test and Confidence Interval dan Mann-Whitney Confidence Interval and Test.
3. Hasil uji Root Means Square Error (RMSE) secara garis besar menunjukkan bahwa model penyebaran penumpang yang dibentuk berdasarkan Model Analogi Fluida sama dengan dibentuk berdasarkan Model Gravity, tetapi pada pemodelan penyebaran penumpang Bemo Lyn Q Jam Sibuk Jurusan Terminal Bratang – JMP terjadi perbedaan. Ini dapat dilihat dari nilai RMSE untuk perhitungan dengan Metoda Analogi Fluida Tzygalnitski = 0.262680 dan nilai

RMSE untuk perhitungan dengan Model Gravity = 0.262792, perbedaannya terdapat pada desimal keempat.

4. Bentuk umum pemodelan penyebaran penumpang hasil perhitungan dengan Model Gravity untuk masing-masing angkutan kota adalah :
   a. Bemo Lyn Q, Jam Sibuk, Jurusan Terminal Bratang – JMP :
   $$T_{ij\,model} = A_i\, O_i\, B_d\, D_d \exp(-0.160925 C_{ij})$$
   b. Bemo Lyn Q, Jam Sibuk, Jurusan JMP - Terminal Bratang :
   $$T_{ij\,model} = A_i\, O_i\, B_d\, D_d \exp(-0.169801\ C_{ij})$$
   c. Bemo Lyn Q, Jam Sepi, Jurusan JMP - Terminal Bratang :
   $$T_{ij\,model} = A_i\, O_i\, B_d\, D_d \exp(-0.191639 C_{ij})$$
   d. Bemo Lyn N, Jam Sibuk, Jurusan Terminal Bratang – JMP :
   $$T_{ij\,model} = A_i\, O_i\, B_d\, D_d \exp(-0.143785\ C_{ij})$$
   e. Bemo Lyn N, Jam Sibuk, Jurusan JMP - Terminal Bratang :
   $$T_{ij\,model} = A_i\, O_i\, B_d\, D_d \exp(-0.135363\ C_{ij})$$
   f. Bemo Lyn N, Jam Sepi, Jurusan Terminal Bratang – JMP :
   $$T_{ij\,model} = A_i\, O_i\, B_d\, D_d \exp(-0.14112\ C_{ij})$$
   g. Bemo Lyn N, Jam Sepi, Jurusan JMP - Terminal Bratang :
   $$T_{ij\,model} = A_i\, O_i\, B_d\, D_d \exp(-0.144767\ C_{ij})$$

5. Secara umum dapat dikatakan bahwa penyebaran perjalanan (trip distribusi) penumpang angkutan kota Bemo Lyn Q dan Bemo Lyn N mempunyai kesamaan antara hasil perhitungan dengan Model Analogi Fluida dan Model Gravity. Perbedaan hanya terletak pada tingkat signifikan angka yang di gunakan, semakin besar angka signifikan yang dipilih maka akan semakin kelihatan kesamaannya demikian pula sebaliknya bila semakin kecil angka signifikannya maka akan kelihatan perbedaan antar keduanya. Perbedaannya menunjukkan bahwa Model Analogi Fluida lebih baik dari pada Model Gravity.

5.2. Saran

Sehubungan dengan hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan penyebaran perjalanan penumpang berdasarkan Metoda Analogi Fluida lebih baik dari Model Gravity, maka dianjurkan agar perhitungan penyebaran perjalanan untuk berbagai lokasi lainnya juga menggunakan metoda ini agar nantinya dapat dilihat dan dibandingkan hasil permodelannya.

5. DAFTAR ACUAN

Ang, Alfredo dan Tang, Wilson (1975), *Probability Concepts in Engineering Planning and Design,* Volume 1, Basic Principles, John Willey & Sons, New York.

Herijanto, W (1997), *Evaluasi Demand Penumpang dan Jaringan Angkutan Umum Surabaya,* Torsi, Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil, Edisi Mei 1997, Jurusan Teknik Sipil – FTSP – ITS, Surabaya.

Herijanto, W (2001), Pemodelan Distribusi Perjalanan Penumpang pada Satu Jalur Bus Antar Kota dengan Metoda Analogi Fluida dengan Studi kasus Jalur Surabaya – Jember, ,Simposium ke-4 Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FTSP), Denpasar 1 Nopember 2001, Udayana - Bali.

Tamin, O.Z (1997), Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, Penerbit ITB, Bandung.

……., (1997), *Modul Pelatihan Perencanaan Sistem Angkutan Umum,* Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat ITB bekerjasama dengan Kelompok Bidang Keahlian Rekayasa Transportasi Jurusan Teknik Sipil, FTSP – ITB, Bandung

……., (2000), *Surabaya City Map,* Diterbitkan oleh CV. Indo Prima Sarana, Surabaya.

FORMULIR BERLANGGANAN

Kepada Yth.,

Ketua Dewan Redaksi "Jurnal APLIKASI"
Program Diploma Teknik Sipil FTSP ITS
Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya, 60116
Telp. 031-5947637, 5927419; Fax. 031-5938025
Email : aplikasi@ce.its.ac.id

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : …….
Alamat : …….
Telp./Fax. : …….
Email : …….

Mohon didaftar sebagai pelanggan **"Jurnal APLIKASI"** mulai edisi : Pebruari / Agustus *), Volume ….. Nomor ….. Tahun ……

Bersama ini kami lampirkan copy bukti tranfer beaya berlangganan sebesar**):
(pilih salah satu)

☐ Rp. 100.000/tahun (untuk Pulau Jawa dan Bali)

☐ Rp. 125.000/tahun (untuk luar Pulau Jawa dan Bali)

melalui bank:

BCA KCP Ratu Plaza
No. Rek.: 5250115026
a.n. Tatas

Selanjutnya, saya mohon **Jurnal APLIKASI** dapat dikirim ke alamat saya tersebut diatas.

Demikian permohonan saya, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

....., ...
Pelanggan,

.....

**) Coret yang tidak perlu*
***) Lampirkan copy bukti transfer beaya langganan*

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAYANAN PRODUK DAN JASA
PROGRAM STUDI DIPLOMA TEKNIK SIPIL
FTSP - ITS

PUSAT PENDIDIKAN & PELATIHAN JASA KONSTRUKSI (PUSDIKLAT JAKON)

Sertifikasi bidang teknik sipil untuk :

- Pelaksana
- Pengawas
- Juru Gambar
- Juru Ukur
- Tukang Kayu
- Tukang Batu

LABORATORIUM UJI MATERIAL

1. Uji Beton
   - Tes tekan beton
   - Tes tekan paving
   - Mix Desain
2. Uji Tanah
   - Tes Sondir
   - Tes Boring
   - Tes Laboratorium Tanah
   - Desain Pondasi
3. Uji Bahan Jalan
   - Tes Asphalt
   - Tes Agregat Jalan

LABORATORIUM PERMODELAN TEKNIK SIPIL

1. Survey Topografi
2. Studi hidrologi dan hidrolika
3. Perancangan bangunan air

LABORATORIUM PERANCANGAN DAN TEKNOLOGI BAHAN BANGUNAN

1. Pelatihan Software AutoCAD, SAP2000, Hec-RAS, Epanet.
2. Jasa konsultasi perancangan bangunan gedung, dermaga, jembatan, lapangan terbang dan jalan.

WORKSHOP

- Produksi paving dan batako
- Jasa pengeringan (oven) kayu
- Jasa pemotongan & penghalusan kayu
- Jasa pengelasan listrik dan gas

Halaman ini sengaja dikosongkan